雙月刊

核能簡訊

NUCLEAR NEWSLETTER

從日本核災後食品來瞭解輻射

國內、外後端營運基金的運作概況

日本核電成功出口至印度 但在越南碰壁

德國提前關閉核電廠 廠商可向政府索賠

法國完成安檢後重新啟動 9座反應爐



核能簡訊 NUCLEAR NEWSLETTER

NO.164 雙月刊

FEBRUARY 中華民國一○六年二月號

出版單位：財團法人核能資訊中心
地　　址：新竹市光復路二段一O一號研發大樓 208 室
電　　話：（03）571-1808
傳　　真：（03）572-5461
網　　址：http://www.nicenter.org.tw
E-mail：nicenter@nicenter.org.tw
發 行 人：朱鐵吉
編輯委員：李四海、汪曉康、陳條宗、郭瓊文、劉仁賢、謝牧謙
（依筆畫順序）
主　　編：朱鐵吉
文　　編：鍾玉娟、翁明琪、林庭安
執　　編：羅德禎
設計排版：長榮國際　文化事業本部
地　　址：台北市民生東路二段 166 號 6 樓
電　　話：02-2500-1175
製版印刷：長榮國際股份有限公司　印刷廠
行政院原子能委員會敬贈　廣告
台灣電力公司核能後端營運處敬贈　廣告

編者的話

1 月 20 日美國總統川普正式走馬上任，他「信守」競選時的承諾，「將撤銷『氣候行動計畫』這等不利、且不必要的政策，如此將對美國勞工大有幫助，預估在未來 7 年內能增加超過 300 億美元的薪資。」還選定大力支持化石燃料、不承認氣候變遷是事實的奧克拉荷馬州檢察長普魯特（Scott Pruitt）接掌環保署，以及任命埃克森美孚石油公司執行長擔任美國國務卿。

白宮的官網在川普就職後大幅改版，內容提到：「總統川普允諾，將擺脫對石油輸出國家組織（OPEC）與任何有礙我國利益國家的倚賴，讓美國不再依賴進口能源。在此同時，我們也會與波斯灣盟邦合作，發展正向的能源關係，以做為反恐戰略的一部分。」川普還表明將移除美國國內能源發展的障礙，聲明指出，「川普政府深信，頁岩油與天然氣變革能為數百萬美國人帶來工作機會與繁榮。」此外，川普也會「重啟」在美國被傷害許久的煤礦產業。

身為「全球暖化否定論」的掌門人，川普最驚人的言論就是認為全球暖化與氣候變遷是中國的陰謀，意圖削弱美國製造業競爭力。由 196 個締約國簽署的巴黎氣候協議，宣示將地球暖化維持在攝氏 2 度以下，並幫助貧窮國家因應全球暖化所帶來的影響。但是川普在競選時即表示，這將有損美國利益，誓言要讓美國退出這項協議，還要刪除美國太空總署所有與氣候研究有關的預算。

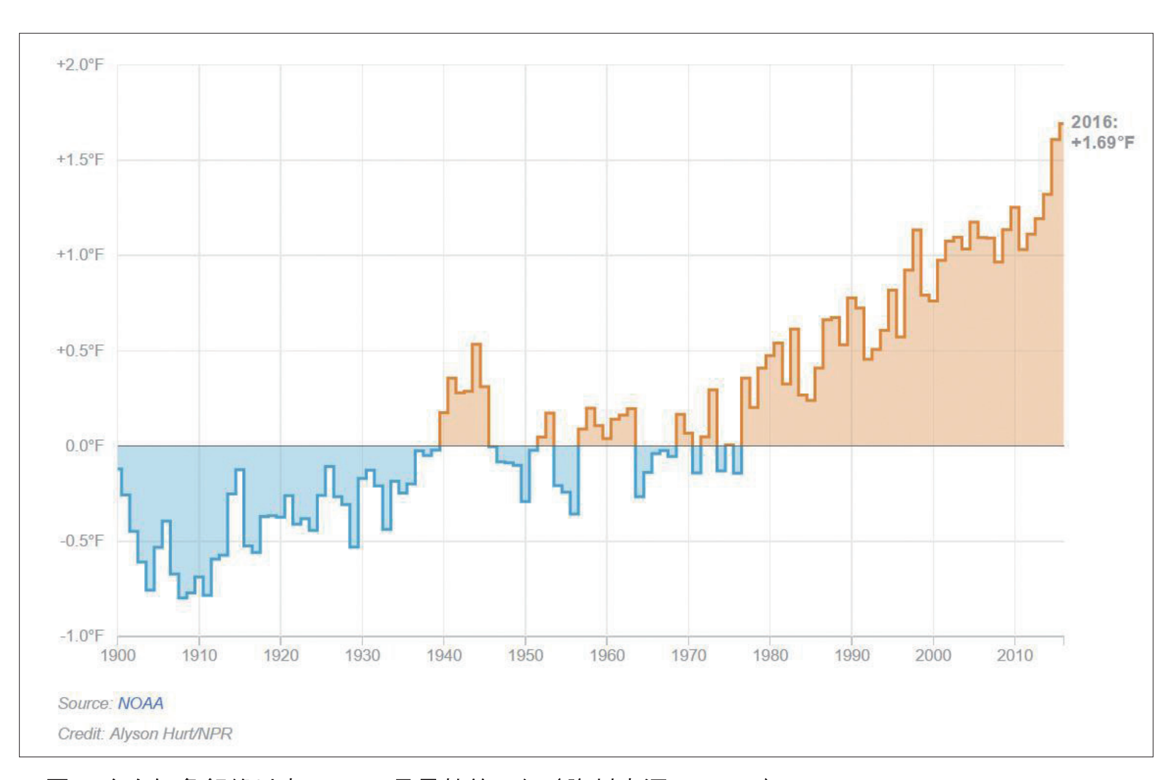
全球暖化有部分是肇因於人類溫室氣體排放的增加，這已是不爭的科學事實。但是仍有反對者挑選極少數對其有利的氣候數據，每年都試圖說服民眾相信，自現在開始沒有全球暖化這回事。

政府領導人若昧於科學事實，只揀選對自己有利的數據為基礎擬定國家能源政策，這不僅是單一國家的災難，也將是地球生態的浩劫。放眼望去，國際間盡是狂人執政，民粹治國、保護主義抬頭，經濟發展與環境保護在天平上已嚴重失衡。

如果只是否認全球暖化，只會坐視問題加速失控，或許不必等到下一個冰河期來臨，地球已經自取滅亡。

2016 開始不再有全球暖化嗎？

文・編輯室



▲圖 1. 自有氣象紀錄以來，2016 是最熱的一年（資料來源：NOAA）

剛剛結束的 2016 年，有關氣候變遷的新聞並不都是壞消息，也有好消息，甚至醜陋的消息，最後這些都將永遠存在我們的記憶之中。我們先從好的開始看：

好消息

不論美國或全世界，最好的消息要算是再生能源的發電成本持續下降，潔淨能源的裝置容量非常高；風力、太陽能，以及其他再生能源以不可思議的速度降低成本，創造出利潤，與化石燃料相比，逐漸展現出經濟方面的競爭力。此外，基礎電網儲存電力的改進及擴展也是與時俱進，再生能源間歇、不穩定的缺點（如風力和太陽能），需要這些儲電能力才能使間歇性電力向電網輸送功率，以發揮更大的效用。

以全球的角度來看，美國、中國與其他國家共同簽署了巴黎氣候協議，為我們提供機會來避免氣候變遷最糟的影響。美國採取重要的行政措施——藉由「潔淨能源計畫」降低國

內的溫室氣體排放量。

有許多國家已經降低了溫室氣體排放量，美國是其中之一。首先，非常便宜的天然氣取代燃煤火力；其次，風力與太陽能等再生能源的廣泛使用，這些因素也使美國的發電成本明顯的降低了，表示潔淨能源也可以價廉物美。

而在法庭上，2016 年也有所斬獲，一群公益團體的科學家打敗高薪的反對者，讓他們的科學不被採信而贏得訴訟。

最後一則好消息是，過去每年都有一些科學家試圖找到證據表明地球沒有變暖，或者沒有變得很暖。2016 這一年，氣候變遷否定者最終輸掉了這場科學之戰。

這類科學家的人數逐年減少，到現在幾乎快消失不見，他們似乎放棄尋找反對的證據。他們的研究被證明是錯的而退出科學領域，現在只出現在部落格或報紙的評論，有時也刊登在自費的期刊上，但是很少在有競爭性審查的科學場域中看到了。

壞消息

儘管取得了上述進展，全球暖化仍在持續。美國太空總署在 2016 年 7 月以數位化地圖繪製系統儀器在北冰洋的楚科奇（Chukchi）海所拍攝的影像，可以看到北極冰層融化成池塘和大片的開闊水域，去年北極海冰的狀況特別糟。

事實上，2016 年是連續第 3 年創下全球高溫記錄。雖然這 3 年我們排放的二氧化碳濃度還不到 2 倍，但是真正使我們進入氣候變遷的危險區域──升溫 2°C 的警示標記，我們卻已經超過了一半。

全球升溫約 1.5°C，大氣中二氧化碳濃度增加 45%，這意味著史班塞（Roy Spencer）、克里斯第（John Christy）、林德森（Richard Lindzen）、哈波（William Happer）和庫里（Judith Curry）這些反對者錯了。我們看到空氣和海洋溫度的暖化率，與這個團體奇特又樂觀的信念並不一致。

2016 年達到的溫度水平不能證明世界正在變暖，事實上，我們從來不把單一年度的氣溫作為證據。相反的，在海洋中發現了證據。2016 年發表的幾項重要研究清楚地表明，世界上的海洋正在變暖。

雖然如此，地球和天氣並不理會這些反對者，這是瘋狂的一年。許多氣候變遷導致的重大天氣事件，應該足夠成為我們關切的原因。我們知道，氣候暖化會造成許多天氣影響，例如，在變暖的地方水氣蒸發量增加，這使得乾燥地區的乾旱更加惡化。但是，在世界的某些地方，變暖的空氣含有更多的水蒸氣，有更高的濕度，因而出現強降雨，並造成更大的洪水。一般的經驗法則是，目前乾燥的地區將變得更乾燥，潮濕的地區更潮濕，一旦降雨就是強降雨。這是我們親眼目睹的現況。

在美國，除了加州持續出現可怕的乾旱，東南部地區也因熱浪造成乾旱，導致了嚴重的野火。其他地區包括馬里蘭州、西維吉尼亞州、路易斯安那州、德州、阿肯色州、密西西比州、愛荷華州也發生了嚴重的洪水。在美國之外，北極地區出現了令人難以置信的熱浪，導致那裡自有記錄以來最低的冬季冰層；而北極很重要的夏季低冰層範圍看起來也相當不穩定。我們很有可能會「再次」打破紀錄。

英國、緬甸、阿根廷、印尼、西班牙和埃及等地發生可怕的洪災，在澳洲同時出現洪水和熱浪，印度和中東地區則是瘋狂的酷熱。

醜陋的消息

環繞川普身邊的人不是科學家，而是化石燃料工業的擁護者；不僅否認科學，而且努力破壞科學和研究氣候變遷科學的歷史。實在

看不出川普或他的政府會認真對待氣候變遷的議題。

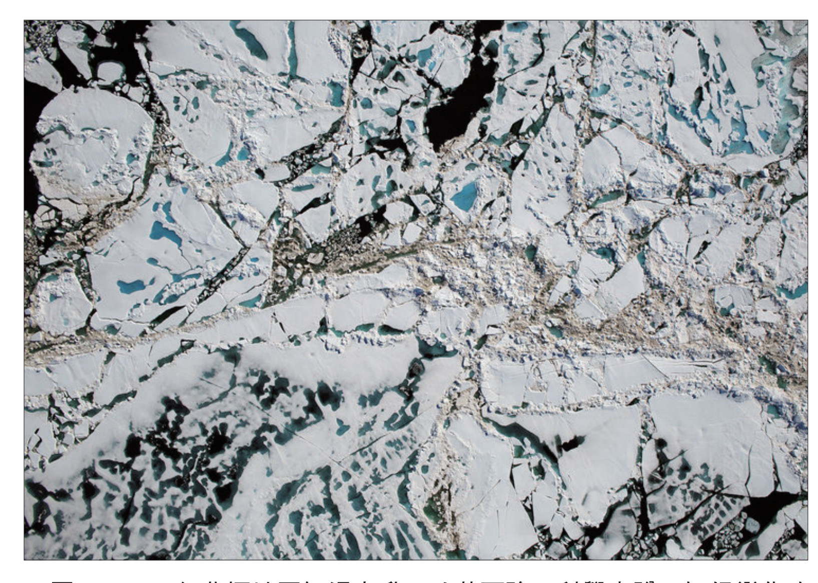
如果川普意識到氣候變遷為經濟和社會帶來的危險，以共和黨總統加上共和黨國會的強大地位，他可以讓自己成為這個世界的救世主。另一方面，如果他砍掉氣候基金，使美國退出巴黎氣候協議，並對美國的溫室氣體減排做出負面的貢獻，我們將看到他對氣候造成毀滅性的影響，也將導致能源價格上漲。如果能源價格在 4 年內高於現在，那將是多大的諷刺。

川普政府的能源政策是否會落實氣候變遷否定者的論調，無視於更乾淨、更永續的全球能源趨勢，而讓化石能源強勢回歸，全世界都繃緊神經等著看。美國一群科學家、經濟學家、環保人士向川普發出一封公開信，建議這位新總統採取強有力的行動，來拯救和發展美國的核能工業。他們認為，為了滿足不斷增長的全球電力需求，使用先進的核反應爐來代替煤炭發電，將比任何聯合國條約更能減少空氣污染，並減緩氣候變遷。這封公開信提及，發展核能不僅可確保美國公司在全球能源市場上的競爭優勢，「使美國再次偉大」，還可重新找回美國在全世界能源的老大哥地位。

第 2 個醜陋的現象是對氣候變遷的錯誤資訊仍然無處不在。英國的羅斯（David Rose），他於去年 11 月在《星期天郵報（The Mail on Sunday）》寫了一篇文章，聲稱最近創紀錄的氣溫是聖嬰（El Niño）現象造成的結果，而不是全球暖化。這篇文章的論調是錯的。

聖嬰現象會暫時提高地球表面的溫度，而反聖嬰（La Niña）現象則造成地球表面暫時冷卻。地球具有由諸如聖嬰與反聖嬰現象循環等因素，所引起的短期自然溫度的高低振盪。當我們將這些高低循環與長期人為造成的全球暖化趨勢，以及其他各種影響相結合時，會得到一個跳動型上升的溫度曲線，所以會短暫出現氣溫持平或降低的情形。

讀者可能以為羅斯先生是一名氣候科學家，殊不知他忽略了 8 個氣候紀錄中的 7 個，只專注於一小部分，而排除了大部分的氣候暖化數據。他略過整個海洋的數據，只挑選對他有利的數據，以符合他要的結論。即使這樣，他仍然是錯的。但是，當文章刊登在報紙上，就被賦予一種公信力的表象。簡單地說，羅斯是錯的，2014 年、2015 年、2016 年，我們釋出的溫室氣體，不斷刷新歷史紀錄。



▲圖 2. 2016 年北極地區氣溫上升、冰蓋下降。科學家說，氣候變化改變該地區的速度比地球其他部分更快。（圖片來源：http://www.npr.org/sections/thetwo-way/2016/12/13/505434080/scientists-report-the-arctic-is-melting-even-more-rapidly）

這類錯誤資訊不僅限於英國，在美國更多。《華爾街日報》上，皮爾克（Roger Pielke Jr.）發表了一篇文章，他將自己描述成氣候變遷的異教徒。皮爾克聲稱，他受到「由億萬富翁和白宮資助的思想警察」攻擊。

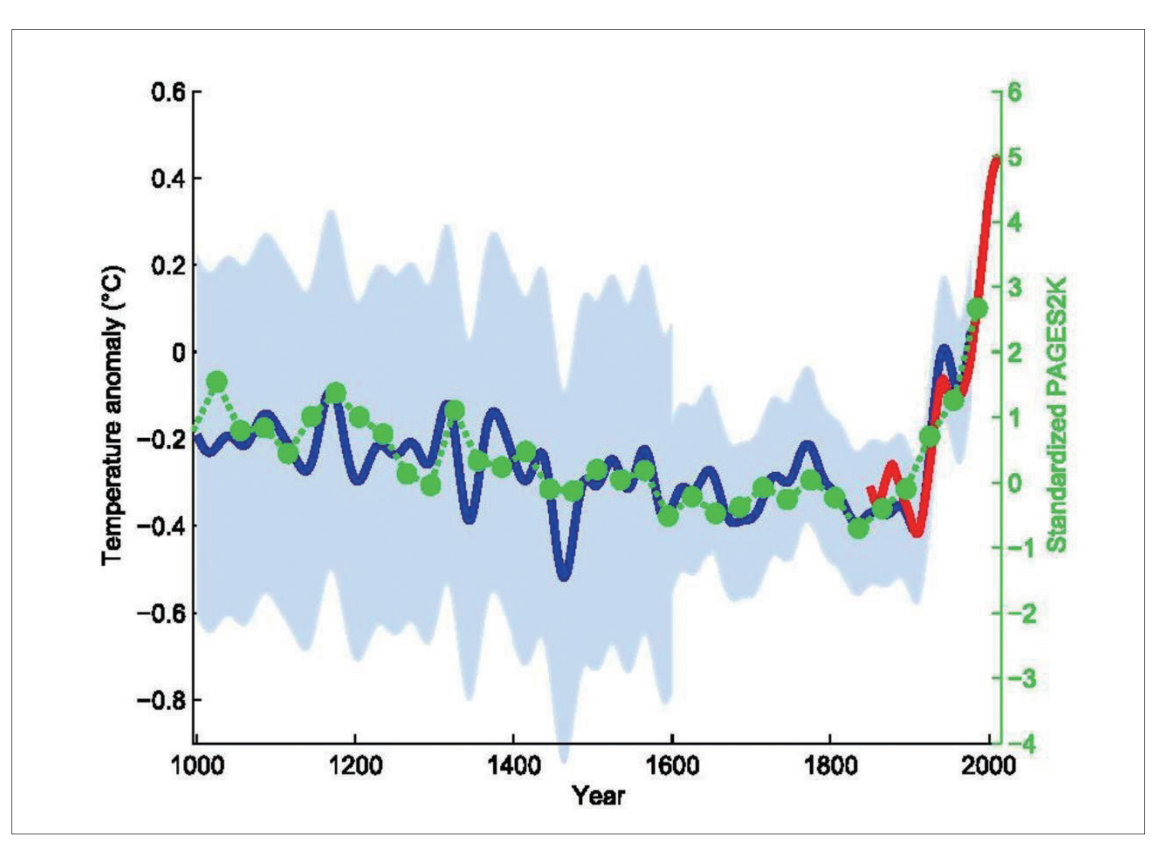
皮爾克寫了誤導性的作品，將海嘯、火山和地震當成天氣事件討論，這是因為作者的科學素養和專業不足造成的。還有許多其他例子，包括二等科學家或非科學家找到高調的媒體場域來抒發他們的幻想，最後讀者越來越難以辨別真假。

2016 年是史上最熱的一年

美國國家海洋及大氣總署（NOAA）1 月 18 日發布了年度氣候報告，指出 2016 年是自從 1880 年有氣象紀錄以來最熱的一年。而白宮新主人川普及其內閣成員，卻認為氣候變遷並非人為所致，而且全球暖化通通都是假的。

有人將氣候變遷否定者比喻成僵屍——當你開槍射穿他的心臟，以為他死了，正要轉身走開之際，他又突然在你身後跳出來，試圖啃噬你的腦子。

氣候變遷否定者的第一步，就是否認有全球暖化這回事，10 多年來，他們每年都會說，自現在起沒有全球暖化。



▲圖 3. 第 2 版的「冰上曲棍球棍圖」，綠點表示以新的 PAGES 2k 重建 1850 年到 2013 年之間 30 年全球平均溫度變化。紅色曲線顯示了從 1850 年開始 HadCRUT4 數據的全球平均溫度攀升的情況。藍色曲線是 1999 年第一次發表的原圖形，淺藍色是不確定性範圍。（圖片來源：https://thinkprogress.org/most-comprehensive-paleoclimate-reconstruction-confirms-hockey-stick-e7ce8c3a2384#.hz1f283zj）

因此，有種說法開始流傳——如果沒有全球暖化的問題，維持現狀的既得利益者是誰？答案簡單到 3 歲小孩都懂。而氣候變遷否定者所用的話術，是只談對自己有利的證據。

氣候學家及地球物理學家麥可曼（Michael Mann）第 2 次發表的冰上曲棍球棍圖如圖 3，顯見自 1850 年開始全球平均溫度急遽攀升（見下頁註）。

從 2016 年起沒有全球暖化？

我們現今正處於最熱的階段，2014 年創下最高溫紀錄，2015 年氣溫續創新高，我們又在 2016 年繼續刷新紀錄。這前所未有的高溫雖然使氣候變遷否定者暫時停止發聲，但是就像僵屍一般，他們又會突然竄出來。據瞭解，虛擬的科學記者已經寫了關於 2016 年 8 月至 10 月間氣溫下降的假新聞。

「自 2016 年起沒有全球暖化」的故事變得普遍，這是因為在 2016 年底，有一個強烈的聖嬰現象，和 1998 年底的狀況非常類似。1998 年的聖嬰現象造成「18 年來地球沒有顯著變暖」的神話，一直到最近。事實上，最近美國眾議院科學委員會在推特上推翻「氣候警示者」的說法，認為在衛星數據中，2016 年的溫度沒有比 1998 年高多少。

1998 年到 2016 年間，地球表面溫度上升約 0.25° C，這就是從「沒有暖化」變成「沒有明顯暖化」的原因。然而，由於過去 3 年創紀錄的全球高溫，氣候變遷否定者很可能重新設定，將 2016 年定為「神話」的計算起點。

小心僵屍氣候神話

在「真相是次要」、對氣候科學與政策抱持敵對態度者已掌控美國政府的現況之下，我們很可能會在未來幾年中，看到殭屍氣候神話再度甦醒。我們必須使民眾拒絕接受，要求政府的領導人瞭解事實，並要求傳播神話和錯誤資訊的人負起責任，才能阻止他們。

幸運的是，科學界正在加強對科學、證據和事實的支持。為了擊退殭屍，還需要社會大眾的支持。

寄望於 2017

經過了充斥著假新聞的一年，希望新聞消費者能變得挑剔一點，標準提高一點。希望新聞媒體更有責任感、更有專業程度。如果新聞消費者會問：「這個資訊來自哪裡？」「它有信譽嗎？」「我可以再查證這篇文章嗎？」「這個新聞記者背後可能有什麼勢力衝突？」那麼，2017 年將是光輝的一年，使我們走上復興的道路。

美國核工業界致川普的公開信

親愛的總統當選人川普和州長佩里（Rick Perry）：

我們以科學家、經濟學家、環保人士和公民的身分，建議你採取強有力的行動，來拯救和發展美國的核能工業。

美國核電廠正在努力對付廉價天然氣、接受大量補貼的再生能源和低電力需求的挑戰。同時，發展中國家正在興起，它們的能源需求將使全球的電力需求在未來 25 年內成長 70%。

新的核反應爐組件可以越來越多地在工廠大量生產，並運送到世界各地，以便於在核電廠現場組裝。

為了滿足不斷增長的全球電力需求，使用先進的核反應爐來代替煤炭發電，將比任何聯合國條約更能減少空氣污染，並減緩氣候變遷。

在 1960-70 年代，美國是世界核能技術的領先者。但不幸的是，今日我們正在迫使比爾蓋茲等資本充裕的創新企業家去國外建立新型核反應爐。

現今中國大陸正大量的投資至少 5 種不同的先進核反應爐設計。2016 年 9 月，中國大陸和比爾蓋茲的泰拉能源公司（Terrapower）簽署了一項協議，將共同設計與發展一款新型的核反應爐。該公司官員說，他們也想在美國開發此新型反應爐，但聯邦政府過時的管制審查程序與規定，讓他們無法在美國進行。

同時，加拿大正積極開發另一種新型反應爐，使用化學鹽而不是水作為冷卻劑。可防止爐心熔毀，並且比現有的反應爐更便宜。

我們不能在全球的新型核反應爐競賽中放棄，應該參考艾森豪總統在 1953 年發表的「和平使用核能」倡議，他意識到廉價電力是經濟增長和創造就業機會的關鍵驅動力，而擬定了相關的核能資助計畫，以支持核能發電的發展與利用，並為世界上缺乏電力的地區提供了豐沛的電力。

首先，美國需要通過並擴大進出口銀行、世界銀行以及其他發展機構對美國製造核反應爐的融資。因為美國政府不提供融資。商務部門提出最新的警告：美國企業正不斷地失去市場配額，在此同時，俄羅斯、日本、法國和韓國等競爭對手數量卻不斷的增加。

我們需要的不是補貼，而是長期貸款和貸款擔保，以支持國外客戶來美國購買我們的技術。

比起在聯合國進行任何外交手段，確保美國公司在全球核能市場上的競爭優勢，將更有效地維持「核武不擴散條約」的效力。

在國內，我們必須為核能打造公平的競爭環境，太陽能和風力獲得聯邦政府和州政府大量的補貼，核電廠卻沒有。我們期待一個針對清潔能源的中立補貼方案，因為對每種形式的清潔能源的補貼應該平等才對。

能源局應該創建一個「測試平台」，私人公司的企業家可以在此快速展示他們的新設計，更以低成本迅速將其導入全球市場。

上述這些都需要新的法規來評估新設計的安全特性。如果以管理螺旋槳飛機的規定來管理現代噴射型飛機是沒有意義的，但這正是聯邦政府對待新型核反應爐的方式，這些不必要的規定減緩了美國新型反應爐的發展。

我們知道總統您和新的國會，將致力於為工人階級選民提供工作機會，並且一起努力制定一個新的基礎設施計畫；使美國核能再次偉大，將是這些計畫的關鍵。

註：氣候學家及地球物理學家麥可曼（Michael Mann）在發表了冰上曲棍球圖之後，曾受到來自各地的嚴厲抨擊、包含媒體、國會、甚至受到人身威脅。「2K PAGES」代表的是過去2000年來全球的變化。

參考資料：

1. John Abraham, 2017/01/02, The Guardian https://www.theguardian.com/environment/climate-consensus-97-per-cent/2017/jan/02/climate-change-in-2016-the-good-the-bad-and-the-ugly
2. Nell Greenfieldboyce, 2017/01/18, NPR. http://www.npr.org/sections/thetwo-way/2017/01/18/510405739/2016-was-the-hottest-year-yet-scientists-declare
3. Dana Nuccitelli, 2017/01/06, The Gardian. https://www.theguardian.com/environment/climate-consensus-97-per-cent/2017/jan/06/prepare-for-reanimation-of-the-zombie-myth-no-global-warming-since-2016
4. http://www.environmentalprogress.org/trump-letter/

從日本核災後食品來瞭解輻射

文・張文杰



前陣子政府想要開放日本栃木、茨城、千葉、群馬這 4 縣的食品，但是政府過往錯誤的決策，加上有許多民眾誤解這些食品中的輻射危害人體，最終導致政府暫停舉辦公聽會並暫緩開放進口。

筆者認為主因是人民長期對輻射不了解所導致的後果，政府應該要藉此機會傳達正確的輻射知識才是上策。輻射不是不可怕，但是因為錯誤的輻射資訊所導致的錯誤或過度防護，可能比輻射本身的危害還大。

應該正名為「核災後食品」

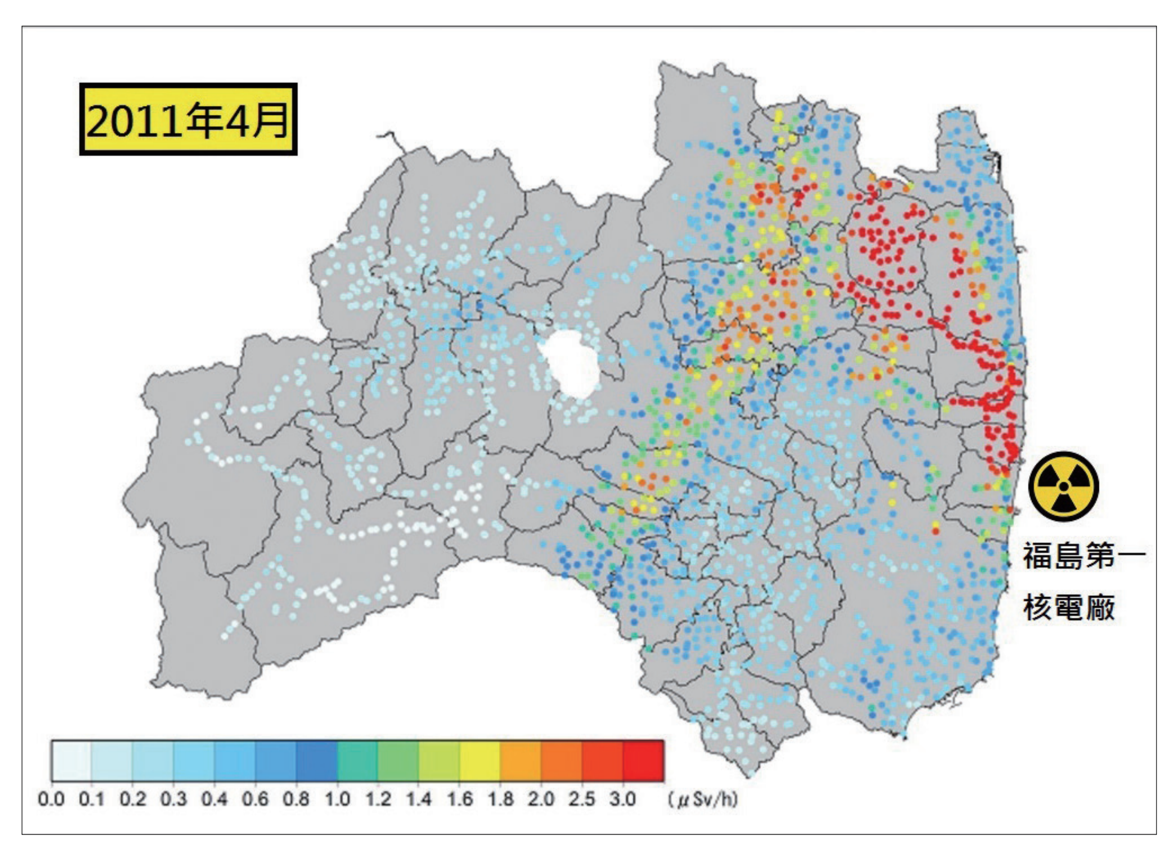
之前台灣所禁止的日本福島等 5 縣食品，常被冠上「來自於核災區」、「輻射食品」、「核災食品」等字眼，可是也早有專家提出質疑，為何把這 5 縣定為核災區？依據又是什麼？而且這 5 縣的食品不是都有受到輻射汙染，一律冠上輻射食品之名豈不是有誤導之嫌？這種風評被害的殺傷力可不比核災的影響小。

食品安全辦公室在 2016 年 12 月 1 日舉辦公聽會的預備會議，各方人馬光是公聽會的名稱就花了一整個上午討論，最後決定叫「日本核災後食品風險危害評估及管理暨茨城、栃木、千葉、群馬食品開放與否公聽會」。筆者認為「核災後食品」這名稱很好，日本的確是有發生核災，但是發生核災之後食品是否有受到輻射汙染是另一回事。核災之後的影響是多少也是關鍵，是否發生核災就等於亡國或是永遠無法回復呢？

別忘了我們在制定這些規範與名稱時，其他國家與國際專業組織也會看到，這些規範與名稱都應以科學證據為基礎，與國際的規範與名稱接軌，不然我們跟國際間技術交流與合作時會遭遇許多困難與非議。

台灣的日本「核災區」劃定法荒謬至極

目前政府是將日本的福島、栃木、茨城、千葉和群馬這 5 縣劃定為「核災區」，並且禁止該 5 縣所有食品進口，其他縣市的食品只要附上「產地證明」與「輻射檢測證明」就可以進口。



▲圖 1. 2011 年 4 月的福島縣內輻射分布圖（資料來源：福島縣政府 http://fukushima-radioactivity.jp/pc/）

但是從 2011 年 4 月的福島縣內輻射分布圖（圖 1）即可看出，福島縣境內的輻射分布是由福島第一核電廠為中心向西北方擴散，在福島第一核電廠南部以及福島縣中部以西的地區並未受到太多輻射污染的影響。

再由日本東北與關東地區的地圖（圖 2）來看，栃木、茨城、千葉、群馬這 4 縣是位於福島縣南部的關東地區，這 4 縣受到輻射污染的影響應該低於福島縣北部的宮城等縣，但是政府卻未禁止宮城等縣的食品，可見當初的管制方式與輻射擴散的方向是相違背的。

筆者多次詢問衛福部當初將那 5 縣劃定為核災區，並禁止所有食品進口的根據為何，最後得到的答案是，在 2011 年 3 月 21 日，日本原子能災害對策本部依據原子能災害特別對策法，要求福島、茨城、栃木、群馬 4 縣暫停出口「菠菜、油菜和牛乳」這 3 項食品，我國政府因此在 2011 年 3 月 25 日公告禁止日本福島、茨城、栃木、群馬、千葉 5 縣生產製造的所有食品進口，其中千葉縣是食品加工重鎮，所以也列入管制。

所以可知當初政府劃定核災區的方式有多荒謬，第一、只因為千葉縣是食品加工重鎮就劃定為核災區，這根本是風評被害式的加害作法；第二、日本是暫停出口菠菜、油菜和牛乳這 3 項食品，我國政府卻擴大為禁止所有食品都不准進口；第三、日本已經變更福島、茨城、栃木、群馬 4 縣暫停出口菠菜、油菜和牛乳這 3 項食品的作法，我國政府卻沒有隨之改變；第四、日本也有在其他時間要求其他縣市暫停出口某些食品，但是我國政府卻未跟進或參考，只參考 3 月 21 日的禁令，並未將實際輻射污染的情況與國人健康放置第一順位考量。

管理制度必須以科學證據為依據，世界衛生組織（WTO）的慣例是管制特定風險的食品輸入，而非管制特定地區，因此我國對於日本輸入食品的管理，應該修正為以風險產品為管理對象，不該再用管制特定地區（福島等 5 縣）所有食品的方式。

常見的輻射誤解——要「零輻射」

在日本核災後食品議題中，民眾常見的輻射誤解幾乎就是在核能議題中常見的輻射誤解，例如：要零輻射的食品。

所有物質都是由元素組成，也同時都存在著放射性同位素，也就是所有的物質都有放射性（輻射）。例如碳以同位素混合物形式存在於大氣和所有生命組織中，碳有兩個穩定同位素：碳 12 和碳 13，除此之外，還有一些微量的放射性同位素：碳 14。碳 14 的半衰期是 5,730 年，所以考古學上有所謂的「碳 14 定



▲圖 2. 日本東北與關東地區的地圖（資料來源：http://goinjapanesque.com/）

年法」，又稱為「放射性碳定年法」，這就是利用大氣和所有生命組織中都有碳 14 這種放射性同位素，也就是都有輻射，然後再由碳 14 的半衰期去測定出樣本的可能生成年代。

所以要求食品要零輻射是不合理且不可能的要求，因為所有物質都有輻射。全球人類每年接受到背景輻射的平均值約為 3 毫西弗（mSv），其中約有 0.3 毫西弗是來自天然的食物與飲水。

常見的輻射誤解——輻射沒有安全劑量

通常解釋完沒有零輻射的食品時，民眾會提出「線性無閾值模型（LNT）」或「最低的合理輻射量（ALARA）」來指稱「輻射沒有安全劑量」，不論輻射劑量多低都會對人體產生傷害，所以食品沒有安全的輻射容許劑量。

然而線性無閾值模型只是個「假說」，一個「不可能被科學證據所證實的假說」，因為經過日本廣島長崎的原爆倖存者、歐美合作樣本數十萬的核電廠工人研究、核電廠周圍幾百萬民眾等研究資料，都無法觀察到低劑量輻射與癌症風險的關係，但是超過 100 毫西弗的輻射曝露的確會造成癌症風險線性增加，所以「假設」在低劑量時跟癌症風險的關係也是線性的。

但是線性無閾值的假說忽視了人體對輻射的抵抗力與自癒能力，人體在正常情況下每天約會出現 5,000 個癌細胞，不過大部分都會被淋巴球給吞噬掉，所以線性無閾值是個「不可能被科學證據所證實的假說」。就如同從 10 公尺高的地方跳下來會重傷甚至可能摔死，但是從 10 公分高的地方跳下來 100 次也不會怎樣，不可能跟從 10 公尺高的地方跳下來一樣重傷甚至可能摔死。

國際輻射防護委員會（ICRP）、聯合國原子輻射效應科學委員會（UNSCEAR）、美國醫學物理學會（AAPM）與保健物理學會（HPS）等國際專業輻射相關組織皆不約而同的指出：「輻射劑量每年低於 100 毫西弗的健康效應風險不是不存在就是比生活中罹癌風險的誤差還小。」所以 100 毫西弗是一個超級安全的輻射容許劑量，不論對成人、兒童、孕婦都適用。

至於 ALARA 主要是用在輻射工作場所，可幫助工作人員評估在不同工作場域下執行任務時的影響，並為未來的工作設定輻射劑量的基線。換言之，ALARA 用來指稱輻射沒有安全劑量是錯誤且過度的解釋。

常見的輻射誤解——體內曝露很危險

雖然拿不出科學證據證明線性無閾值模式的正確性，民眾還是擔憂一旦吃進放射性物質，會在體內零距離的曝露，比體外曝露危險許多。

其實關鍵還是在「劑量」，因為西弗（Sv）是用來表示輻射對人體的影響所使用的單位，當輻射劑量用西弗來表示時，代表已經把所有輻射傷害的種類、途徑都考慮進去。也就是說，「不論是天然輻射或人造輻射，體內曝露或體外曝露，只要西弗數相同，對人體健康的影響都是相同的。」

在核子醫療部門也常遇到體內曝露的情況，例如進行全身骨骼掃描時，要由靜脈注射鎝（Tc）99m MDP 放射製劑，Tc-99m MDP 隨血流運送到全身組織後，進入骨骼與骨質中的礦物部分結合，在成骨活動增強的病灶，會有較強的 Tc-99m MDP 放射活性聚積現象，並在注射後約 3-5 小時進行全身造影，這樣進行一次全身骨骼掃描約會接受 4.4 毫西弗的劑量。

另一個常見的體內曝露核醫治療案例是服用碘 131 來治療甲狀腺癌，而且碘 131 的核醫藥物是用 10 毫居里（mCi）約 3.7 億貝克

為基本單位，有許多進行完甲狀腺癌療程後服下 1-200 毫居里（約 37-74 億貝克）的實際案例。我國食品規範中的碘 131 輻射安全容許劑量是 100 貝克 / 公斤，兩者相比較，後者的輻射劑量幾乎可以小到忽略。

回到核災後的主題，從車諾比和福島核災的經驗可知，體外曝露與呼吸曝露的路徑很難防範，經由飲食曝露的路徑較易防範，所以只要制定合理的食品輻射安全容許劑量並做好食品管制，那麼體內曝露的劑量將小於體外曝露的劑量；換言之，體外曝露的影響比體內曝露還大。

根據福島縣縣民健康管理調查資料顯示，從 2011 至 2013 年年底為止，共調查福島第一核電廠周圍的 46 萬縣民，福島縣民體內曝露的劑量幾乎是零，原因就是日本政府實施了極為嚴格的輻射安全容許劑量與食品限制。另外來自福島核災的體外曝露累積的劑量在 3 毫西弗以內的比例占 99.3%，其餘 0.7%也大都在 15 毫西弗以內，而這累積劑量其實比日本人接受到的醫療輻射還少，也比一些高背景輻射地區的劑量還少，所以世界衛生組織的報告也指出：「不論是民眾或工人從福島核災接受到的輻射都低到不會對人體有任何不良的影響。」

常見的輻射誤解——輻射的半衰期很長，所以到現在還是不安全

另一個常見的輻射誤解是，銫 137 的半衰期是 28.8 年，所以日本土地到現在的輻射還是很高，吃下去後的輻射也要 28.8 年後才能減半。

從 2016 年 4 月的福島縣內輻射分布圖（圖 3）即可看出，日本絕大部分地區的輻射值都已經回復為正常的背景輻射值，因為日本政府進行大規模除污工作，例如將受輻射汙染的表土剷除，然後集中放置，加上大自然將放射性物質飄散並稀釋，所以不需要等到 28.8 年後輻射才會減半。

而且銫 137 的半衰期 28.8 年是指「物理半衰期」，也就是放射性減半的時間，但是吃進人體內，就要考慮「生物半衰期」，也就是物質進入體內多久會排出一半的時間，最後放射性物質吃進體內，體內放射性減半的時間稱為「有效半衰期」。而銫 137 的生物半衰期約 70 天，有效半衰期的算法是 1[(1/70 天)+(1/30 年)]=69 天。

另外，在計算體內曝露的輻射劑量時也已經考慮持續對人體進行放射的因素，成人是假設從 20 歲持續曝露到 70 歲，兒童和青少年也是假設持續曝露到 70 歲的累積劑量，也就是說，放射性物質的有效半衰期影響也已經列入考量。

逐漸放寬對日本核災後食品的管制是國際趨勢

因為日本絕大部分地區的輻射值都已經回復為正常的背景輻射值，食品的管制紀錄也很齊全，某些食品也好一段時間沒有量到有輻射汙染或超標，所以近年來國際間大部分國家對於確認無污染情形或低風險的日本食品，均以解除或放寬管制為管理方向。

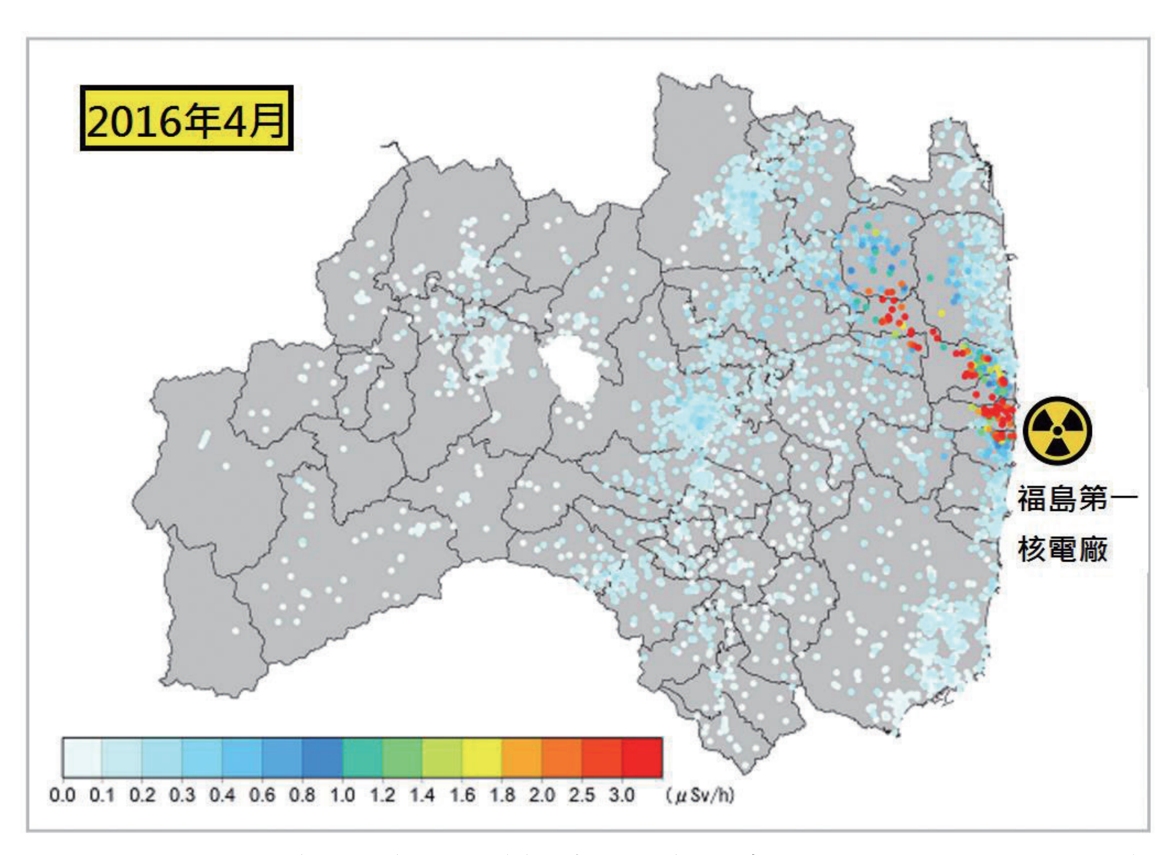
像美國食品藥品監督管理局（FDA）主要依照日本政府管制流通的食品項目，來管制該食品輸入美國，只要日本政府有更新，美國 FDA 即隨之更新，基本上可流通的日本食品項目是越來越多。歐盟也於 2016 年大幅放寬日本食品進口限制，全數日本食品都可以進口，只有部分食品項目要附上輻射檢測證明，例如福島米因為在 2015 年全數通過檢測標準，所以歐盟本來不開放福島米，在 2016 年放寬為福島米只要附上輻射檢測證明就可以進口。

日本核災後食品的問題已不在輻射，而是如何做好管制

食品安全與否是個科學問題，世界衛生組織、國際原子能總署、自然雜誌等諸多國際權威科學組織以及國家食品管理局皆已不約而同指出：除了極少數食品項目（蘑菇、部分野生蔬菜和野豬肉），日本核災後食品的輻射情況已經恢復到核災前的水平。日本制定的輻射安全容許劑量也非常安全，管制情況也是令人放心的。

現在的重點應該在於我國進口食品時在各個關口的檢驗是否確實，使各項食品上架時都符合法定標準，要防止換標籤或是檢測證明作假的事情發生。過高的管制門檻可能會造成人力與設備浪費在低安全風險的食品上，而排擠到其他高安全風險食品的管制。所以有效的管理不在於管制的門檻有多高，而是在管理手段是否合理有效，才會讓現有的人力與設備發揮最好的效果，更加保障國人安全。

（本文作者為清華大學工程與系統科學系研究助理）



▲圖 3. 2016 年 4 月的福島縣內輻射分布圖（資料來源：福島縣政府 http://fukushima-radioactivity.jp/pc/）

福島事故有釋出鍶 90 嗎？

文．劉振乾

最近日本的「核災後食品」正是熱門話題，有一位台電同仁問我：「核能事故時有可能會釋出鍶 90，它的毒性很強，福島事故有釋出嗎？」我答以「即使有，量也甚少，否則媒體早就藉此大作文章了。」其實答案在中川惠一醫師的《放射線醫師談曝露與致癌之真實》一書中就有了，近日重讀此書，發現答案，乃與各位分享。

中川惠一副教授是日本東京大學醫學院的輻射醫療專家，從事輻射醫療已經有約 30 年的臨床經驗，最有資格談這問題。因為他的研究團隊在福島事故後就進駐福島縣飯館村，協助飯館村的菅野典雄村長做出安養院入院者不需要避難的決策，這是一個正確判斷。

中川惠一副教授也擔任東大附設醫院安寧診療部的部長，看到事故後有關輻射傷害的謠言滿天飛，因此提筆著作此書，以正視聽。台電也曾於 2016 年 5 月 31 日舉辦「知輻惜福──福島真相」論壇，邀請他做專題演講。

鍶 90 在化學上是跟鈣相似的物質，如被攝取入體內，會蓄積於骨頭內。攝取量多的時候得到血癌（白血病）或是骨癌的危險性會增加。

鍶 90 主要蓄積於魚骨或是內臟裡，會透過食物進入體內。如被人骨吸收，到排出體外需要 3-7 年的時間。

2011 年 10 月，在距離福島第一核電廠 250 公里的橫濱市，某一棟公寓的屋頂檢測到鍶 90，而成為熱門話題。鍶 90 的半衰期是 28.8 年，劑量是每一公斤 195 貝克。通常檢測出鈽的地方也會檢測出數量非常少的鍶 90。因為量少，對於人體的影響趨近於零。

2011 年 11 月，日本文部科學省將在橫濱市採樣的堆積物詳細分析的結果，發表結論說，這些鍶 90 並不是福島事故後新沉積的，而是很久以前就存在於環境中。1960 年代，歐美與舊蘇聯以及中國，競相做大氣圈內核武器實驗，這時有大量的鈽與鍶 90 被釋出，籠罩全球。

由於核武器實驗，噴發到成層圈的鈽慢慢下降到地表，50 年前的量是現在的 5,000 倍，這與福島事故所釋出的量相比，極為龐大。因此大氣圈內核武器實驗實在是罪惡深重的一件事。文部省認為這次在橫濱市檢出的鍶 90，應該是屬於過去的大氣圈內核武器實驗的沉降物（fallout）[1]。

瞭解「歐洲輻射風險委員會」

歐洲輻射風險委員會（ECRR）是對國際輻射防護委員會（ICRP）的風險評估反彈、在 1997 年成立的組織，總部設於比利時，創會會長是阿立斯史提瓦特的英國人。它公布獨立的 ECRR 模式，其特徵為高估體內曝露的危險性。

這個名稱類似官方機構的團體，曾經發表「未來將有 417,000 人會因福島事故的影響罹患癌症死亡」的預測，這並不能稱為是有根據的預測。

此外，輻射與甲狀腺癌、白血病（血癌）之間沒有直接的關連性，卻和其他的固形癌相關，這一結論並不符合經世界公認的車諾比事故及原子彈對受害者健康影響的研究結果。

日本山下俊一教授＊讀了 ECRR 引用的這篇論文，其中並沒有其他的科學家會認為是有根據的論點，山下俊一教授認為這是 ECRR 的問題所在。他請教了國際原子能總署（IAEA）與世界衛生組織（WHO）的專家們，大家都「不予評論（no comments）」[2]。

澄清 ECRR 的錯誤

中川惠一醫師認為，銫是接近鉀的「鹼性金屬」，進入體內，會與鉀一樣，大致平均的分布到全身的細胞裡。這在福島縣內野生、安樂死的牛的分析中獲得確認。

銫在體內幾乎均勻的分布所產生的輻射，形成體內曝露，因此不會集中於某一臟器，而是與體外曝露相同，幾乎是全身平均曝露。因此體內曝露與體外曝露沒有什麼差異。

談到 1 毫西弗的曝露，不論是體內曝露或是體外曝露對於人體的影響是一樣的。但是 ECRR 有部分學者主張「體內曝露比體外曝露危險 600 倍」[3]，引起民眾恐懼的情緒。



不過，人類對於將有害物質攝取入體內在心理上總是感到不安。最近還有狂牛症的問題，而「痛痛症」則是透過食物鍊將重金屬攝取入體內而引起的，因此「食安」的問題會成為焦點。對於體內曝露的過度不安其來有自，但是放射性物質與重金屬不同，它會藉著排泄與代謝排出體外，同時輻射也會隨著時間減弱。

福島縣的體內曝露量[4]

由銫引起的體內曝露量，到 2011 年 9 月底，檢查過的福島縣民 4,463 人，有 2 位大約 3 毫西弗，這是最大數值。其他有 8 人是 2 毫西弗，6 位是 1 毫西弗，剩下的 4,447 人則是未滿 1 毫西弗。科學上來說，100 毫西弗以下是不會增加癌症的。而 ICRP（國際輻射防護委員會）則在報告書上明言「10 毫西弗是不會增加癌症」的。

註：山下俊一，1952 年生，長崎大學醫學院畢業。曾任長崎大學醫學研究所醫齒藥學綜合研究部長。現任日本甲狀腺學會理事長，福島縣立醫科大學副校長，長崎大學醫學院研究所教授。

資料來源：

1. 中川惠一，《放射線醫師談暴露與致癌之真實》p.22
2. 小島正美，《盡是誤解的輻射新聞》p.199~p.203
3. 中川惠一，《放射線醫師談暴露與致癌之真實》p.186
4. 中川惠一，《放射線醫師談暴露與致癌之真實》p.149

醫療輻射曝露的課題

文・朱鐵吉

醫療曝露

1895 年 11 月 8 日，德國物理學家侖琴（W.C. Roentgen）發現了 X 射線，12 月 22 日他拍攝了其夫人的手部 X 射線影像，揭示了人的活體內部的結構。很快的 X 射線在醫學上開始越來越廣泛的應用。正如《大英百科全書》所記載：「這一發現宣布了現代物理學時代的到來，使醫學發生了革命。」20 世紀初創立放射學這門新科學，開創了醫學診斷和治療的新紀元。

一個世紀以來，X 射線診斷技術迅速發展和廣泛普及，為人類的疾病診斷和健康保健立下了豐功偉績，並且始終占游離輻射醫學應用各個分支的最大部分。然而包含 X 射線及其他所有的游離輻射技術都像是一把雙刃劍，一面是利益，一面是潛在危險，兩者並存。

自有地球以來，一切生物不管願不願意，長年累月都受到輻射曝露。我們人類也生存在生物進化的延長線上，我們的身體可以說是與輻射長期共存的歷史產物。

100 年來，人類開始積極利用輻射技術，從此便開始了與輻射共存的新歷史，這是很重大的變化。其中放射醫學的應用取得極大的進步和普及，已成為現代社會不可或缺的技術。

2015 年日本平均壽命，男性為 80.79 歲，女性為 87.05 歲，是全世界最高的，部分得助於放射醫療高度進步的成果。由於放射線在醫學上廣泛的利用，導致醫療曝露的輻射劑量增加。2011 年日本的統計數據指出，日本國民被輻射曝露的人均有效劑量，自然背景輻射每人每年為 2.09 毫西弗，醫療曝露有效劑量每人每年為 2.25 毫西弗。因此，兩者相加後日本國民每人每年人均有效劑量為 4.34 毫西弗。



聯合國原子輻射效應科學委員會（UNSCEAR），是聯合國授權致力於蒐集、綜合和評估世界各國或地區醫療曝露應用概況的權威機構。為了分析比較全世界不同國家或地區的醫療曝露水準，進而指導加強各種醫療曝露的防護，UNSCEAR 一直在尋求合適的分

析評估模式。在其公開聲明和出版的 1988、1993 和 2000 年報告書中，為了從可得到的有限資料外推至全世界的各種醫療曝露水準，選取每單位人群的醫師擁有量作為特別參數，把不同國家或地區劃分為 4 類「醫療保健水準」；凡每 1 千人口至少有 1 名醫師的定義為第 1 類；每 1 千至 3 千人口有 1 名醫師的為第 2 類；每 3 千至 1 萬人口有一名醫師的為第 3 類；超過 1 萬人口有 1 名醫師的為第 4 類。

因此，醫療水準高的國家，為了診斷和治療，一般都需要接受較高的醫療輻射曝露。以日本來說，為了防治肺結核疾病，日本法規規定每人每年需要做一次 X 射線的胸部照射檢查，這種集體檢診導致醫療曝露的增加。

在醫療現場輻射的利用不斷加速增長，人們已認識到切實管理的重要性。醫療曝露的利用分為診斷技術和惡性腫瘤等治療。前者，是利用低劑量的射線對廣大的人群進行曝露。後者的特點是限於對患者的局部進行高劑量的曝露。從輻射防護的觀點看，診斷用的低劑量曝露是對集體的效應問題，而在放射治療時受到曝露的個人出現的二次致癌危險是主要的關鍵。



醫療曝露的主要對象是因放射診斷或治療而受到曝露的個人，但協助者也有可能受到曝露。雖然這種影響很小，但服用放射性藥劑的患者也會使一般公眾受到曝露。自願者參加研究時，本身沒有得益，卻常受到與治療相同的曝露。醫療曝露中對這些人受到的曝露都要處理。

新的課題

如何與探索新方法對應醫療曝露，對今後的社會來說是很重大的課題。雖然以患者受益為前提進行容許的醫療曝露，但是不應忘記在不損害利益的範圍內，力求減小輻射劑量的大原則。因為輻射不能直接看到，其效應也不能直接感受得到，因而在醫療現場往往有忽視輻射影響的傾向。

據最近美國的輻射防護和度量委員會（NCRP）的資訊，美國每人每年因診斷用的輻射曝露超過 3 毫西弗，這個值已高於地球上受到天然輻射曝露的有效劑量。這種問題不限於先進國家，隨著醫療技術的開發和普及，發展中國家也在急速擴大。研究醫療曝露的國際放射防護委員會第三專門委員會，對這種現狀持重大的危機感，提出了許多不同的課題：

1.診斷儀器的高度技術化

由於放射診斷用裝置的高度技術化，可以簡便地檢測身體內部。但在做到短時間、無痛苦、可簡便地獲取資訊的同時，會使患者受到更多的曝露。

這幾年在放射診斷現場的最大變化是不用 X 射線膠片。這和數位相機的應用，使傳統的照相膠片被逐步淘汰一樣。

用 X 射線照射使膠片感光的方法作診斷時，所用的 X 射線強度是以膠片顯影後的黑度表現出來。現在用數位偵測儀器時，只用到診斷中必要的最低限度的劑量，因而有減輕曝露

的好處，但也可能忽視過量曝露。

診斷時 X 射線透視的數位化，由於淘汰了高價的膠片，使在發展中國家迅速普及，降低現場操作的醫師或技師曝露的相關教育是個迫切的問題。

現在，放射診斷時造成曝露的最大因素是 X 射線電腦斷層攝影（CT）檢查。當然，CT 檢查在現代醫療中是不可缺少的方法。開發的當初是一層一層拍攝斷面影像的取樣裝置；近幾年來，偵測器的多系列化迅速進步。結果，一次掃描可覆蓋較大的範圍，可高速拍攝無間隙的連續斷面，但普及這種方法的負面是曝露的劑量急劇增加。

診斷技術的這種進步一方面使癌等致命的疾病得到早期診斷。另一方面為了早期診斷如果不在無症狀階段做檢查就不能發現，這就產生矛盾。全無症狀時，進行檢查而受曝露，其正當性有討論的必要。最近，各地建立癌症影像檢查診斷中心，大半是由 CT 或正子發射斷層攝影（PET）等組成的，是會受到曝露的檢查方法。癌的早期發現可得到相當大的好處，對於曝露危險較小的高齡老人問題較少，而對於年青人來說必須注意。

2.血管內治療的普及

利用細導管插入血管內，將血管撐開，注入抗癌藥劑的治療方法正在迅速普及，這種治療方法稱為介入放射治療（Interventional Radiology, IVR）法。

在做介入放射治療時，為了把血管內的導管送到目標位置，需要有非常複雜的技術。為了確認導管到達的位置，要做 X 射線透視，因而患者和手術醫生都會受到較多的曝露。特別是心肌梗塞或腦梗塞等治療時，要把阻塞的血管撐開，必須分秒必爭，慢了可能致命，工作中難免受到長時間的 X 射線曝露。

最近技術的進步很驚人，對過去不能治的病（血管完全閉塞或遠端閉塞等），現在可以為積極治療、改善預後做出貢獻。但是，引入這種高難度技術的結果必然是延長了 X 射線的透視時間。

3.放射治療的高度技術化

隨著癌症治療的高度技術化，輻射防護方面的考慮也有很大的變化。過去用的鈷 60（γ 射線）照射裝置、以及後來改用 X 射線照射裝置的治療法，都有如何精確確定治療部位的問題。為此，要致力於劑量計算或照射裝置的合適管理等，需充實物理和工程方面的知識與技術。

最近出現了各式各樣的治療裝置，為的是提高向靶（癌細胞）照射的效率、並儘量減少對周圍健康組織的影響。由於提高了靶組織所受劑量的集中性，對周圍組織的照射可能很小，有了這種好處，預計今後會迅速普及。

在以往的放射治療中，當然也是盡力減少對周圍健康組織的照射，但主要目的是避免皮膚或組織的損傷。受到高劑量照射的組織，後來可能產生新的惡性腫瘤，成為二次致癌問題，所以最初的癌如何治療是很重要的。

由於放射治療的高度技術化，對周圍組織的直接損傷非常有限。雖然沒有直接損傷，但小劑量照射的範圍加大，便成為新的問題。由於治療精準度的提高，使得治療後的生存率提高。但因此會出現新的二次癌問題。

結語

國際放射防護委員會（ICRP）一再提出新建議書，指出了醫療輻射防護的概要。不斷探索診斷和治療的適當醫療曝露，為患者帶來最大的利益，要求有效的輻射安全管理是很重要的。

（本文作者為清華大學原子科學系榮譽退休教授）

國內、外後端營運基金運作概況

文・編輯室

核電廠在發電的過程中、後期都會產生放射性廢棄物，而這些廢棄物的運輸、中期貯存、最終處置以及核電廠的拆除等作業，均屬於「核能後端」的營運範疇，即發生在核電廠壽命終了以後。大多數國家為了確保屆時擁有足夠的經費來執行後端營運的工作，均採取預先收取固定費用的方式來成立所謂的「後端基金」，並妥善保管運用。本篇將簡略介紹目前我國與美、法、日、韓、瑞士以及瑞典等國家的後端基金營運概況。



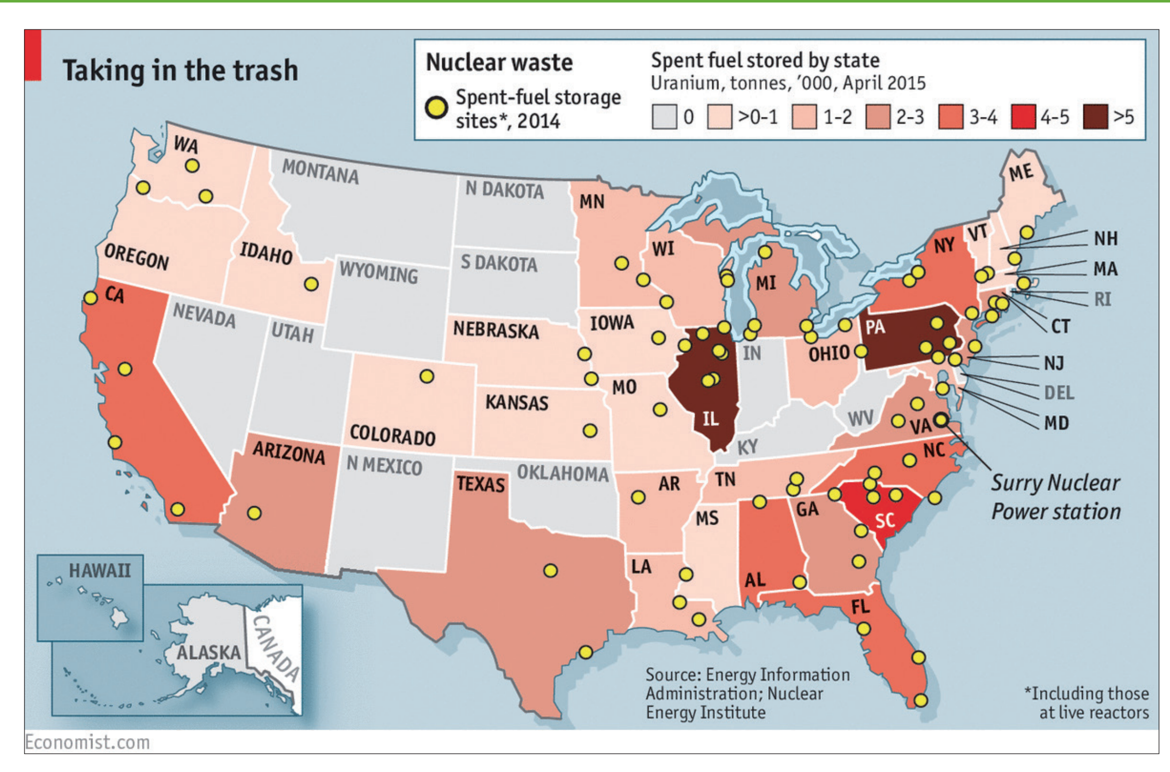
▲台灣後端基金的來源（圖片來源：經濟部核能發電後端營運基金管理會）

我國

台灣電力公司依行政院於民國 76 年 7 月底核定的「台灣電力公司核能發電後端營運費用基金收支保管及運用辦法」，逐年將核能發電後端營運工作所需要的費用提列出來，作為我國核能發電後端營運費用基金之來源，並成立「台灣電力公司償債基金暨核能發電後端營運費用基金管理委員會」，負責基金之監督與保管。該基金之後於 88 年起改制為經濟部主管之非營業特種基金，正式更名為「核能發電後端營運基金」。

「核能發電後端營運基金」是從核能發電的售價收入提撥部分財源等特定收入來源，供辦理特定政務所需，屬於供特殊用途的「特別收入基金」，以經濟部為主管機關，各年度的預算均經由立法院審議，決算由審計部審定，使其收支保管及運用更為公開透明。

而後端營運基金的主要來源，除了按每度核能機組的預計發電量中提撥 0.171 元為基金的收入，還會加上歷年尚未動用基金的孳息收入。106 年度台電預計核能發電量約為 365 億 1 千萬度，按照每度 0.171 來算，可替 106 年度後端營運基金帶來約 62 億 4 千多萬元的收入；105 年度的預計發電量約為 391 億 8 千萬度，提撥總額為 66 億 6 千多萬元。106 年度的收入較 105 年度預算數減少約 4 億 2 千萬元，估計是因為核能發電量減少所致。



▲美國各州用過核燃料貯存現況，黃點為 2014 年的用過核燃料貯存場位置，各州顏色由深至淺代表該州於 2015 年貯存用過核燃料的數量（圖片來源：經濟學人 The Economist）

至於 106 年度已提撥而尚未動用部分基金的餘額，依業務需要作為貸款或其他用途的年平均餘額約為 2,572 億 4 千萬元，按利率 1.51%來計算，106 年度的孳息收入預計約為 38 億 8 千萬元；105 年度的基金貸款或其他用途的年平均額約為 2,485 億，按 105 年利率 1.69%計算後的孳息收入約為 41 億 9 千萬。106 年度較 105 年度減少是因預估資金市場利率下跌所導致。

根據台電 106 年度《後端基金業務計畫及預算說明》顯示，後端營運基金主要將運用在低放射性廢棄物最終處置場的選址、完成用過核燃料乾式中期貯存設施興建計畫、進行用過核燃料再處理及最終處置潛在母岩特性調查與評估作業，以及進行核能發電有關核子設施的除役拆廠計畫之規劃研究等四項重點。

為了配合政府「非核家園」政策，106 年度辦理「核能電廠除役計畫」等相關經費計 3 億多萬元，占總基金用途近 23 億的 13.75%，各計畫辦理工作內容如下：

1. 低放射性廢棄物處理及貯存計畫，內容主要為蘭嶼貯存場營運作業計畫以及低放射性廢棄物的減容工作。
2. 低放射性廢棄物最終處置計畫。
3. 用過核燃料貯存計畫，內容主要集中在用過核燃料的乾式貯存。
4. 用過核燃料最終處置及再處理計畫。
5. 核子設施除役拆廠及其廢棄物處理與最終處置計畫。
6. 一般行政管理計畫。

美國

美國國會在 1982 年通過《核廢料政策法規（NWPA）》後，持有商轉用核電機組的電力公司每度核能發電必須提撥其中 0.1 分美元（約 0.03 元新台幣）的費用至「放射性廢棄

物基金」，該基金僅能使用於處置高放射性廢棄物。美國能源部（DOE）則扮演審核、監督該基金的角色，確保籌取足夠的資金來執行放射性廢棄物的最終處置計畫。

因身為聯邦機構，DOE 的計畫、活動每年都可從國會獲得撥款，像是低放射性廢棄物與 DOE 旗下放射性汙染設施生產的「超鈾廢棄物（Transuranic Waste）」的管理、處置與除役計畫。雖然 DOE 擁有自己的處置設施，但有需要時也會使用民營部門的處置、處理設施。

美國許多發電機是由私人公司營運，非 DOE 的組織必須自行支付低放射性廢棄物的管理與處置費用，包含除役期間產生的低放射性廢棄物等。另外，有些非 DOE 的發電機組因屬於聯邦機構，也可以從國會獲得補助；其他來自非營利組織、大學等的低放射性廢棄物，其管理所需的資金則須自行編列預算來支付。至於商業用處置場地，運轉執照持有者必須自行在設施運轉期間預留資金，確保設施在關閉後仍有足夠的資金以進行有制度的控管。

美國核能研究所（NEI）的數據顯示，美國自 1983 年至今所累積的高放射性廢棄物基金，加上孳息收入已經超過 428 億美元（約 1 兆 2,840 億元新台幣），其中貢獻最多的州分別為伊利諾州（IL）、賓州（PA）與南卡羅萊州（SC）。

法國

與大多數核電使用國家不同，法國並沒有集中統一用過核燃料的後端基金，而是由各電力公司自行徵收與管理，因此各公司之間的狀況也不盡相同。依照該國的放射性物料與廢棄物管理相關法規，法國核電廠商必須負責其放射性廢棄物管理、核子設施拆解所需之資金，確保未來的營運水平。

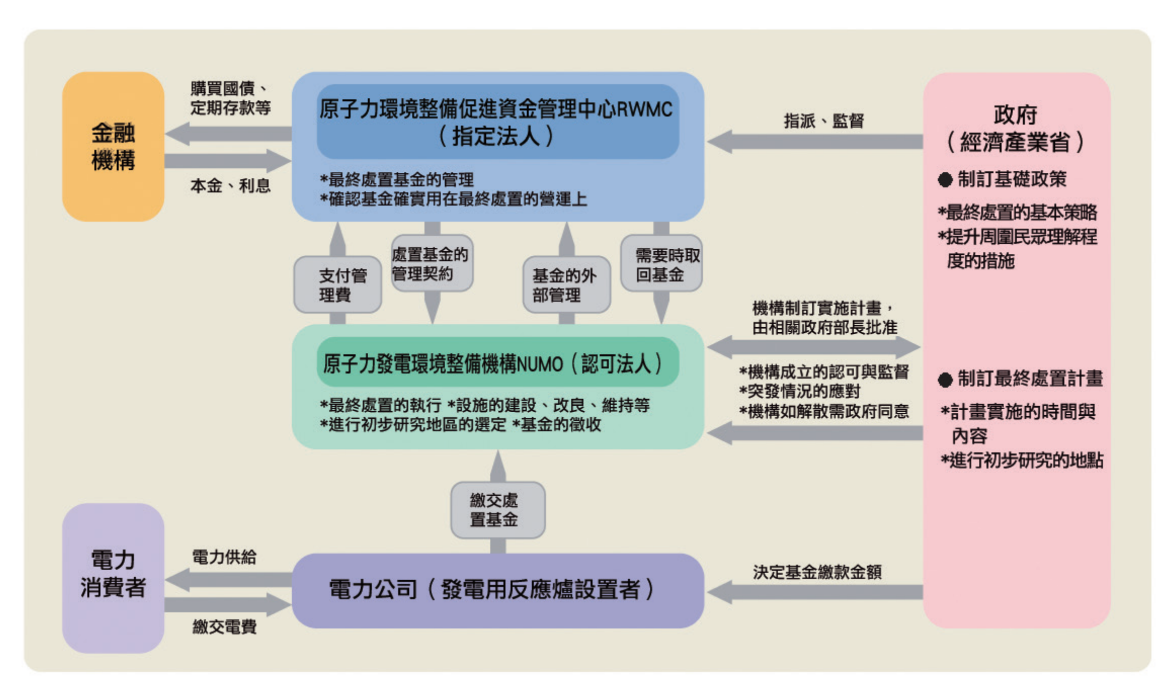
法國擁有基礎核子設施的亞瑞華（AREVA）、法國電力公司（EDF）以及法國原子能署（CEA），必須每 3 年向行政當局呈交內容包括用過核燃料處置的費用評估、計算方法以及用於支付儲備金的資產所組成的報告，並每年繳交一份更新過的版本，報告可能會修改的內容。法國也成立了「國家財政評估委員會」來評估拆除核子設施以及管理用過核燃料與其他放射性廢棄物所需要的基金，評估報告的結果都會向民眾公開。

根據世界核能協會（World Nuclear Association）的介紹，法國能源部長在 2016 年裁定的最終處置計畫的參考成本為 250 億歐元（約 8,300 億元新台幣），但這個數字將隨著工程的進度而調整。不過，這個數字卻比法電以及亞瑞華帳上所預估的金額稍微高了一些，導致法電與亞瑞華需分別做出 8 億以及 2.5 億歐元的調整。

除了上述基礎核子設施除役與其產生的放射性廢棄物的處置基金，法國高放廢棄物的研發與中低放射性廢棄物相關計畫的資金，則依照法規規定來自另外徵收的稅金。

日本

日本在 2000 年頒布《特定放射性廢棄物最終處置法》後，原先的「財團法人原子力環境整備中心」轉型為「財團法人原子力環境整備促進資金管理中心（Radioactive Waste Management Funding and Research Center，RWMC）」，成為該法規的指定法人，開始高放射性廢棄物處置資金管理相關業務；2005 年頒布的用過核燃料再處理資金相關法規，RWMC 亦成為該法規的資金管理法人，成為獨立的資金管理實體，開始用過核燃料再處理資金方面的管理業務。依照上述兩條法規，日本的核能後端營運基金也分為兩種，分別為「（高放射性廢棄物）最終處置基金」與「（用



▲日本最終處置基金運作模式（圖片來源：原子力環境整備促進資金管理中心）

過核燃料）再處理基金」。

自 2000 年開始，日本原子力發電環境整備機構（NUMO）每年下半年都會計算「國內高放射性廢棄物最終處置」的總費用，以及每度核能發電所需要提列的最終處置基金，送交日本經濟產業省審核後至隔年初再向電力公司收取該金額的費用，依法規定交由 RWMC 管理，並由經產省負責監督，NUMO 必須依經產省核准的計畫才可向 RWMC 申請支用。另外 RWMC 也於 2008 年開始單獨替「超鈾廢棄物」進行資金的積累與管理。

至於用過核燃料再處理方面，在 2005 年以前日本送至英、法國進行用過核燃料再處理所需的費用，因為是電力公司自行與再處理廠商簽約，費用直接由電力公司負擔。在 2005 年後，電力公司每年需提報發電計畫給經產省，由經產省與電力公司一起計算並核定再處理所需的費用，NUMO 向電力公司收取該筆費用後交由 RWMC 管理，也是由經產省負責監督。

除了每年來自電力公司方面的收入之外，RWMC 亦召集大學教授、金融與法律專家，以及電力公司等，組成公債基金委員會，定期召開會議討論債券的購買，替基金進行投資。

根據 RWMC 最新公布的數據，2015 年高放射性廢棄物最終處置基金的結餘約為 9,897.44 億日圓（約 2,800 億元新台幣），預計 2016 年的結餘為 9,968.24 億日圓；2015 年超鈾廢棄物最終處置基金的結餘為 398.24 億日圓（約 110 億元新台幣），預計 2016 年的結餘為 437.43 億日圓。再處理基金方面則沒有公開。

韓國

自 1983 年開始，韓國核電廠運轉執照持有者即開始存放年度運轉及除役過程所產生各種放射性廢棄物最終處置的費用，並依照《電力商業法》的規定，將這筆費用作為內部負債累積起來。

在 2008 年初頒布《放射性廢棄物管理法

規》後，韓國成立專責機構「放射性廢棄物管理局（KORAD）」以及隸屬於 KORAD 的「資金管理中心」，將累積起來的費用轉為國家「放射性廢棄物管理基金」。根據《放射性廢棄物管理法規》，生產放射性廢棄物的單位應將保管放射性廢棄物的成本轉移給 KORAD 負責，這些公司再向該基金支付管理費用。但為了更順利地執行與用過核燃料管理有關的計畫，由核電廠所產生的用過核燃料的管理成本已直接轉移至核電廠運轉執照持有者身上，並回歸至該基金當中。

韓國政府、KORAD、韓國水力核能電力公司（KHNP）等相關單位每兩年會裁定一次電廠營運廠商在廢棄物的處置、用過核燃料的中期貯存以及除役方面，需繳交的基金金額，但 KORAD 並沒有公開詳細金額。根據世界核能協會的網站顯示，韓國水力核能電力公司生產每公斤的用過核燃料，需支付 90 萬韓元（約 3 萬元新台幣）的管理費用，由韓國產業通商資源部（MOTIE）負責徵收。

瑞士

瑞士放射性廢棄物最終處置的融資是依照《瑞士聯邦核能法規》來管理，2007 年底開始生效的《除役基金條例》與《廢棄物處置基金條例》則制定了融資具體細節的部份。瑞士在放射性廢棄物最終處置上也因此成立了兩個獨立的基金，分別為「除役基金」與「廢棄物處置基金」，由核子設施的營運者每年支付固定的費用。

瑞士於 1984 年成立的「除役基金」，其目的是為了確保國內核子設施的除役與拆解的資金，除了境內 5 部核電機組的營運廠商，還有位於維倫林根（Würenlingen）的中期貯存設施，每年都必須向該基金繳納費用。

而於 2000 年成立的「放射性廢棄物處置基金」則將用於處置瑞士國內所有的放射性廢棄物。放射性廢棄物處置中最重要的成本要素為用過核燃料元件的儲存、運輸轉移、再處理以及在兩座深層地質處置場進行最終處置。與除役基金相同，5 部機組的營運廠商亦需每年繳交費用，確保核電機組在運轉 50 年後擁有足夠的資金進行放射性廢棄物的最終處置。

瑞士每隔 5 年就會進行一次除役及廢棄物處置所需成本的審查，由這兩個基金的管制單位──除役與廢棄物處置基金行政委員會（STENFO）負責做出所有決定，在科學與技術層面則由瑞士聯邦核子安全檢察署（ENSI）負責審查。

根據世界核能新聞（WNN）的報導，最近 STENFO 已決議將減少、甚至免除核電廠營運廠商在下一階段（2017-2021 年）期間需繳納的除役與廢棄物處置基金。貝茲諾核電廠（Beznau）兩部機組除役及放射性廢棄物處置的總成本約為 56.2 億瑞士法郎（約為 1,700 億元新台幣），雖然比上一期的成本研究提高了 6.4%，但因基金營運良好，加上國內深層地質處置設施運轉時程將延後數十年，基金的利息將帶來更多的收入，該兩部機組在 2017-2021 年期間均不需繳納任何的費用；米勒貝格（Mühleberg）核電廠目前也已完成除役的融資，在上述時間內也不須繳交任何費用至除役基金，但每年仍會向放射性廢棄物處置基金繳納約 1,800 萬瑞士法郎（約 5.4 億元新台幣）。

瑞典

自 1989 年開始，依照法規瑞典核子設施的運轉執照持有者也必須支付管理、處置用過核燃料的費用至國家成立的「放射性廢棄物基金」，核電機組的執照持有者只能自行支付，非核電機組的其他核子設施執照持有者則

有可能豁免支付該費用，但前提是必須有保證人可幫忙支付，監管單位為瑞典輻射安全局（SSM）。

根據經濟合作與發展組織核能署（OECD-NEA）瑞典 2013 年國家報告顯示，目前未來仍需支付的費用與各種後端計畫所累計的費用預估約為 1,230 億瑞典克朗（約 4,300 億元新台幣）。而瑞典核燃料與廢棄物管理公司（SKB）以 2015 年 1 月的價格水平來估算，瑞典全部核電計畫的成本約為 1,360 億瑞典克朗（約 4,800 億新台幣），其中的 390 億已用在建造、營運核電廠，以及放射性廢棄物管理、處置系統的研發與建造，剩餘的 970 億將於未來支付相關費用。

在 2012-2014 年間，核電廠運轉執照持有者平均每度電需支付的費用為 0.02 瑞典克朗（約 0.07 元新台幣），這是以核電機組運轉壽命 40 年、剩餘運轉壽命最少為 6 年的基礎來計算；但根據 SKB 最新數據顯示，2015-2017 年每度核能發電所需支付的費用已漲至 0.04 瑞典克朗（約 0.14 元新台幣），在 2015 年底已累積 590 億瑞典克朗（約 2,050 億新台幣）的後端基金，這個數字還會持續向上爬升。

另外，瑞典的中低放射性廢棄物最終處置場（SFR-1）的費用均由瑞典的電力公司另外支付，來源並不是來自國家放射性廢棄物基金。

結語

由此可見，在放射性廢棄物的管理與處置方面，各國都是秉持「使用者付費」的原則，核電廠營運廠商因需負責處置其所生產的用過核燃料元件與放射性廢棄物所需要的費用，各國都選擇以成立基金或預留款項的方式來籌備資金；會產生放射性廢棄物的非電廠單位也必須固定替其所生產的低放射性廢棄物，支付管理以及處置的費用。而各國基金管制單位也會視情況，以「錢滾錢」的方式對基金進行適當的投資，增加基金的收入。雖然每個國家在後端基金營運的細節上有不盡相同之處，但目標都是確保未來擁有足夠的資金，以支付需長時間控管的放射性廢棄物所需要的費用，替我們這一代所生產的放射性廢棄物負責，也替我們的下一代減少負擔。

參考資料：

1. 經濟部核能發電後端營運基金管理會《106 年度核能發電後端營運基金附屬單位預算（非營業部分）》
2. OECD-NEA. “Radioactive Waste Management in the United States of America.”
3. Nuclear Energy Institute. “Costs: Fuel, Operation, Waste Disposal & Life Cycle.”
4. OECD-NEA. “Radioactive Waste Management in France.”
5. World Nuclear Association. “Nuclear Power in France.”
6. Radioactive Waste Management Funding and Research Center (RWMC). “Fund Administration.”
7. OECD-NEA. “Radioactive Waste Management in Rep. of Korea.”
8. Swiss Federal Office of Energy. “Decommissioning and waste disposal funds.”
9. World Nuclear Association. “Nuclear Power in Switzerland.”
10. OECD-NEA. “Radioactive Waste Management in Sweden.”
11. SKB. “Funding.”

瑞士公投不廢核的啟示

文・趙嘉崇



最近，瑞士公投不廢核，他們為何放聰明了？筆者認為他們自知其核電廠的安全性世界第一；話要從 10 年前說起。

2007 年，我去歐洲推廣「嚴重事故分析、或然率風險評估」的理念，專訪的地點是瑞士德廷根的貝茲瑙（Beznau）核電廠，一個小型壓水式核電廠，位在阿勒（Aar）河人工島上，自 1969 年 9 月起發電。

「你要多安全，核能就可多安全」

瑞士另外兩個核電廠的關鍵人物也來聽演講，這是一個成功之旅。但萬萬沒想到這次行程又引出了其他極有意義的、且具有影響世界的議題。午餐時，招待用餐的安全經理，是核能界的大師級人物。他告訴我，貝茲瑙核電廠剛剛獲准，只要安全，可以一直延役；這令我大吃一驚。

瑞士這個國家的民族性，包含德國人的貫徹與法國人的不屈不撓，就是這個原因，瑞士人把核電廠安全加強到極致的地步。

背景原因是，在 20 多年前，美國核管會委託美國橡樹嶺國家實驗室研究核電廠安全最弱的一環；結果是，核電廠最怕的就是電廠全黑（station blackout），會使核衰變熱無法冷卻，這是真正致命的原因。無法冷卻，鈾燃料棒就產生高溫與氫氣，氫氣一爆炸，災難就開始了，所以保持冷卻核衰變熱的機能是核電廠安全的要旨。

針對這個，瑞士人是吃了秤鉈鐵了心，設計一套極致安全的堡壘式（Bunker）衰變熱冷卻系統，可說不怕天災。當時的我聽了這些，除了感到震懾之餘，心中甚是佩服，正應驗了美國「核動力海軍之父」李高佛（Hyman Rickover）上將的名言：「你要多安全，核能就可多安全。」

更近震央的女川沒事，福島卻出事

所以從核安的尺度來看，瑞士核電廠是極為安全的，而福島卻站在這個尺度的另一端。

因為核電廠的安全設備需要有電才能啟動運轉，一般情況是由廠外電源供應，但若天災超嚴重，使得外電的供應中斷時，就要靠廠內的緊急用柴油發電機來供電。引發福島核災的海嘯也摧毀了廠內的柴油發電機，就得靠最後一道防線的大電瓶，供應緊急需用的電力，使得安全設備得以運轉，電瓶可以維持幾個小時，一旦電池耗盡就呈電廠全黑，災難就開始了。

日本女川核電廠知道了這點，就拼命加強。東京電力公司旗下的福島電廠 6 個機組則是相應不理。同一海嘯到了兩個地方，一個地方因為已準備好，沒讓海嘯造成電廠全黑而安全無恙，使得女川核電廠平安無事，但另一地方的福島，準備不足就造成世界級的世紀大災難。

2011 年 3 月，福島出事後，我立即與日本方面日夜電話連繫，我已知東京電力公司的人完全沒有把握住核安的重點；在完全沒有冷卻水的狀況下，3 個半小時後，核鈾燃料棒開始熔毀，若還等不到冷卻水，7 小時後壓力槽會熔穿。當然，福島當局嘗試從頂上斷斷續續灑水，有點幫助，但他們仍再停了 14 小時還沒有注水，卻忙著要向中央請示作法。他們對核電安全與核電廠嚴重事故的認知和瑞士比較起來，大大不同。❁

（本文作者為美華核能學會前會長、《核子工程與設計（Nuclear Engineering and Design）》編輯）

核電科技的福祉與風險

文・林基興

美國歷史學家摩里斯（Ian Morris），在《為何目前西方主宰》書中，比較社會的發展，其第一項指標，就是能量的取用，例如，1840 年，英國已知開發應用化石能源，發展出蒸汽機等動機力取代人力；能將戰艦送往東方，繼而打敗中國。就如美國人類學家懷特（Leslie White）主張衡量演化的程度，就是取用能量的功力。

鐘樓怪人的啟示

1831 年，法國文學家雨果（Victor Hugo），出書《鐘樓怪人》，故事的場景在巴黎聖母院，描述該院醜陋駝背敲鐘人與吉卜賽少女的故事。巴黎市民厭惡他的醜陋，害怕他的力量。

他的大頭布滿紅頭髮；他的肩膀之間是一個巨大的駝背，其腳巨大、雙手可怕。然而，所有的畸形下，實在是可怕的外觀…

「這是敲鐘人卡西莫多，所有的孕婦要小心！」學生喊道。

「噢，那猙獰的猿人！…其邪惡如其醜陋…它是魔鬼。」婦女掩藏他們的臉。

——《鐘樓怪人》

隨著故事情節的開展，敲鐘人卡西莫多對吉普賽少女表現出自然的溫和與仁慈。但一般人只「以貌取人」，認為他醜陋就是可怕，並沒實際瞭解他，直到最後，他盡力挽救少女的生命。

英國牛津大學物理教授貢里森（Wade Allison）指出，上述文藝故事就如描繪公眾對輻射的印象，就像卡西莫多被視為醜陋、有力、危險。因其外表，讓人產生幾乎相同的恐懼和排斥反應。

我們需要認清，對於科技，「認知」未必等同「現實」；同樣地，「事實」可能異於「意見」。

自然界本就有核反應爐

大自然在 20 億年前就已經建造出核反應爐；然而，人類在 1950 年代才發展出核電。

1972 年，法國國家科學院接到報告：法國某工廠從非洲中部的加彭共和國進口鈾 235 礦石，其含鈾量比一般礦石含量的 0.7%，還少 0.3%，顯示此原料已被使用過。科學家尋找濃度變低的原因，最後，在當地找到天然核反應爐。

鈾 235 在自然鈾礦的濃度為 0.7%，一般的核分裂反應爐使用的鈾燃料是將挖掘的鈾，提純為濃度 3.5%，再以普通水當中子緩和劑，以便維持穩定的核連鎖反應。放射性元素會自然衰變，濃度一直變低。但在 20 億年前，鈾 235 的濃度就是 3.5%。因此，自然界就存在這些濃縮鈾燃料與水，在適宜情況下，類似今天的核反應就可能自然發生。證據顯示，確實

曾發生過，就在加彭的歐克陸（Oklo），自然發生並持續了百萬年，在此期間平均輸出功率為100瓩。反應熱蒸發了水，缺水（中子緩和劑）後，反應自然停止；等到聚集的自然水補足後，又繼續核反應；週而復始，直到用完適宜濃度的鈾235。

科學家研究後發現，丟失的鈾235是在天然核反應爐中消耗掉的，而反應後的核分裂產物，例如，殘餘的鈾燃料和核分裂產物，在原地安靜地躺了20億年，並沒到處亂跑。

由於加彭反應爐這麼穩定，在這麼長的時間中運作，並已保存了20億年，探究這些獨特的天然反應爐，有助於相關的人為核能設施和放射性廢棄物儲存。似乎，大自然深諳操作核反應爐之道。

——〈天然核反應爐〉，《科學美國人》，2011年7月

科學家在歐克陸發現了16處已停止核反應的古反應爐遺址；後來在南方30公里，另發現1處。

因為自然衰減，當前的鈾235含量繼續變少，後人若想利用，則需費勁提純。

輻射恐慌源自無知

1977年諾貝爾生醫獎得主雅蘿（Rosalyn Yalow）表示，一些活躍份子鼓吹輻射恐慌，結果，婦女不敢去作乳房X光檢查，即使它是早期偵測最敏銳的方法，而乳房癌是婦女死於癌症的首犯。另外，紐約某民代提案禁止「所有放射性」物質經過；如此則大家都不可過，因人體均有放射性，甚至路也不可以鋪，因鋪路材料就有放射性。雅蘿強調，若要科學（而非愚昧）引導人生，實在需要了解「無害、可忽略的放射性」的觀念。

除了中子，使用輻射並不會使物質具有放射性。這是輻射與核子安全最重要且讓人放心的事，在考慮使用諸如輻射照射食物或消毒醫院供應品時，我們需要瞭解此科學知識，而非擔心輻射照射導致食物或醫院用品產生放射性。放射性有個重要的安全特性，而為化學火與生物媒介物所無，那就是放射性不會「傳遞」。物體可「著」火而擴散，造成大火災，生物疾病可經由感染而繁衍擴散；但放射性只會被輸送，不會被傳染，在其「生命期」中只會減少。

美國工程院院士與輻射效應專家科恩（Bernard Cohen）指出，在人體的健康效應上，輻射1毫西弗約等同20公克酒精，也約等同40杯咖啡。咖啡因的「半數致死劑量」（LD50）為每公斤192毫克（老鼠）。1970年代，美國反核最力的活躍份子納德（Ralph Nader），宣稱鈽為「人類所知最毒物質，因1英鎊鈽殺死80億人」。科恩回應：「納德吃下多少咖啡因，科恩就吃下多少鈽」，納德才悻然閉嘴。

瑞士醫生也是植物學家的帕拉賽瑟斯（Paracelsus）的名言：「萬物均有毒，關鍵在劑量；其多寡即成毒物或療劑之分」，仍為現今毒物學的中心思維。例如，肉毒桿菌在高劑量時致人於死，但在低劑量時為「美容聖品」，可除皺紋。

2006年，法國國家科學院與醫學學院發表聯合報告：1. 流行病學並無證據顯示，劑量在100毫西弗以下，會讓人額外致癌。2. 實驗動物資料並無證據顯示，劑量在100毫西弗以下存在致癌性效應。3. 由輻射生物學研究

可知，基因體兩大保護者「修補 DNA、以細胞凋亡的方式消除細胞」，在 DNA 損傷時發揮作用。4. 輻射安全值應可建議為：若是單一劑量則 100 毫西弗，每個月總量 100 毫西弗，一生中總曝露量 5,000 毫西弗。證據顯示，在 85 歲前，若工作人員曾曝露於低劑量輻射中，其癌症死亡率就少 15-20%，顯示低劑量輻射劑量似乎是有益的。

不解科技者引起的恐慌

2014 年 2 月，因害怕輻射者告狀，監委不滿衛福部管制標準太寬鬆而讓日本輻射食品進口，沿用告狀者的宣稱，韓國將放射性元素銫汙染標準縮緊至每公斤 100 貝克，而我國仍每公斤 370 貝克。但國際食品法典委員會是每公斤 1,000 貝克。

2011 年 7 月，福島事故後 4 個月，日本政府受到害怕輻射者的壓力，設限「食物輻射劑量每公斤 500 貝克」。但即使每天吃此劑量的食物，連吃 4 個月，結果其輻射風險仍少於一次電腦斷層掃描的劑量。不解科學的民眾仍繼續施壓，2012 年 4 月，日本更嚴縮管制為每公斤 100 貝克。結果導致許多食物浪費與銷毀、物價上揚、外地居民歧視等社會災難。

2013 年，民眾投書媒體說，無論劑量高低均應立即銷毀。但所有的自然蔬果等動植物、每人體內均存在自然輻射。照此說法，就要銷毀所有的食物。隔月，又有網路文章說，日本不賣超過每公斤 20 貝克的輻射汙染食品，而已轉進台灣人的肚子。該文作者知道每根香蕉（約 0.2 公斤重，含天然放射物質鉀 40）所含輻射劑量約 15 貝克嗎？

福島事故後，許多人擔心吸入銫 137（半衰期 28.8 年），但即使車諾比事故後，也無人因此導致死亡的案例。任何事故導致體內輻射劑量千倍於福島所測量到的，才可能具有令人信服的風險，亦即，超過幾百萬貝克，此種事故確曾發生於巴西中部最大城戈亞尼亞（Goiânia）。

1987 年，有劑量強度為 20 兆貝克的醫療用銫 137 射源被偷走且容器被打開，輻射外洩。它發出誘人的藍光，孩子拿來塗抹身上，家裡到處塗抹，又邀鄰居來觀賞。最後，249 人受污染，其中 4 人死於急性輻射症候群，包括一位體內劑量 10 億貝克的女孩。另有 28 人嚴重灼傷需要手術。一位婦人當時懷孕，受到劑量 20 萬貝克，後來生下小孩；另一婦人受到劑量 3 億貝克，而在 3 年 8 個月後也懷孕生下小孩，結果這 2 小孩均正常。25 年後（2012 年），與此污染相關的癌症數目為 0。

2013 年某週刊聳動地報導〈恐怖！輻射魚早上了你家餐桌〉，宣稱日本不要的輻射魚進了你肚內；食藥署只得在官網澄清「福島事故以來，所有日本進口食品均合格」，但讀者會去官網求證嗎？大概只會恐慌相傳。隔幾天，某報社論〈對日本農水產輻射防線寧過勿不及〉，引述該週刊文容，宣稱「符合標準不代表安全」。這就類似「無論劑量高低均應立即銷毀」的恐慌心態，說「符合標準不代表安全」，實在藐視公權力與全球科學研究結果。

核電廠是可控制的

美國海軍核動力之父李高佛（Hyman Rickover），受邀在國會作證，為何三哩島核

電廠發生事故，但海軍核子設施從無事故？1950 年代，他告訴海軍夥伴：「我有個兒子，我愛他，我要操作的機器均安全，而樂見他操作，這是我的基本規則。」相對地，冷戰時期，蘇聯出現 14 次已知的海軍核子事故。核能是可控制的，只要慎重，就可不出事。

核電安全是可以控制的，放射性廢棄物是可以處理的。

—— 朱棣文，美國前能源部長，1997 年諾貝爾物理獎得主

朱前能源部長這番支持核電的說法，代表美國政府和美國主流民意對核電的認知，因此 1979 年三哩島 2 號機核子事故後，美國仍繼續使用核電，甚至，三哩島 1 號機仍持續運轉，又在 2014 年，因績優而延役到 2034 年。

美式核電廠是可控制的，全球啟用 60 年來，無一人因其輻射而死亡即是證明。其他工業或能源業有如此優良紀錄嗎？

因應福島事故，國外來台的協助，除了世界核能發電協會、歐盟規範壓力測試等，還包括全球傑出華人蔡維綱（曾任美國最大核電公司 Exelon Nuclear 核安部門經理）、呂鴻薇（美國電力研究院科技創新副總，領導福島事故評估計畫）。即使非常不可能地，所有防護均失效時，核電廠就採取「斷然處置」，亦即「棄廠」，可有效解決類似福島事故。這是台電研發的成果，受到全球稱讚：2016 年 4 月，全球「壓水式反應爐業主組織（PWROG）」為台電的斷然處置背書；2016 年 5 月，《國際核子工程》期刊也加以肯定。但遺憾地，我國民眾無知，只會嘲諷。

我國核電建設與管制作業均比照美國，美國已將 99 座核能機組中的 81 座延役 20 年；我國核一、二、三廠卻遭批「老舊」、核四廠被指「拼裝」。看樣子，國家的強弱在於國民的素質。

民眾不需作繭自縛

我們的生活環境中，從宇宙射線到蔬果、土地、建材、你我身上，到處都是輻射；另外，國家也需要核醫藥、非破壞性檢驗等醫農工應用輻射的研究。

現有民眾要求立法防制「通訊設備、高壓電線等」，因產生非游離輻射，可能有健康影響；但通訊與電線等產生的非游離輻射，並無核能輻射效應。

對岸福建省的福清核電廠，離苗栗僅 164 公里，旁邊寧德核電廠離北台灣也僅 200 公里，約如台中距離台北。唯有對輻射有正確的認知，才不會一味的恐慌而作繭自縛。

（本文作者為行政院科技會報辦公室研究員）

出席 2016 年全球核能婦女會年會摘記

文・陳怡如



▲我國邱絹琇女士（右 2 ）榮獲 Win Global 榮譽獎

阿拉伯聯合大公國（UAE, The United Arab Emirates）於 1971 年脫離英國殖民而建國，由 7 個酋長州組成，土地面積 77,700 平方公里，人口還不到 5 百萬人，以伊斯蘭教為主要信仰。阿布達比是最大的州，占全國土地的 86％，首都為阿布達比市，而杜拜則是 UAE 最大的城市。在發現石油之前人民生活困苦，以採集珍珠、捕魚、畜牧為生。據稱 UAE 可以在一代人之間致富可歸功於：1. 優秀的領袖 Sheikh Zayed bin Sultan Al Nahyan 一心為國為民，他在各酋長間奔走使大家願意成立阿拉伯聯合大公國，並堅苦卓絕帶領全國度過難關。2. 政府的行政目標以民為主，公正無私。建國初期，由酋長制轉換成現代行政體系，官員不懂如何運作政府，以謙卑態度向歐美學習。3. 推動教育，積極培養人才。此外最重要

是感謝阿拉賜福，尤其是賜予黑金石油。2016年12月2日是UAE建國45週年[1]。

在小川順子擔任全球核能婦女會（Women in Nuclear Global, 簡稱WiN Global）理事長時曾到UAE介紹WiN Global，但WiN UAE是在2014年正式成立，當年在澳洲雪梨開年會時即提出要主辦2016年會，非常有魄力。WiN UAE目前有370位會員，會長為Hasna Al Blooshi女士。該組織出版ENEC Quarterly刊物、並針對會員辦理教育、文化、宣導、趣味等各項活動。

全球核能婦女會概述

2016年全球核能婦女會年會由WiN UAE主辦，幕後支持者為國營電力公司ENEC及Nawah能源公司，於2016年11月20-24日在阿布達比市舉行，主題為「為萬世提供動力(powering generations)」，這是中東第一次主辦WiN Global年會，所以他們特別覺得光榮。本次年會贊助人為UAE婦女聯盟主席H.H. Sheikha Fatima bint Mubarak，她也是家庭發展基金會董事長、母親與孩童委員會主席，也是國母。有來自35國約350人參加。我國代表團由WiN Taiwan會長工研院鄭憶湘博士率領原能會邱絹琇（WiN Global執行理事） 與范盛慧、核研所武及蘭、台電廖瑞鶯與袁梅玲、陳怡如共7人與會。中、韓兩國代表團均有近30人左右，聲勢浩大。

我國邱絹琇女士榮獲WiN榮譽獎

WiN Global於1995年設置WiN Award獎項以鼓勵對核能溝通、教育、領導、指導等有貢獻的個人或團體，我國謝瀛春教授曾於2004年榮獲此獎項，今年得獎人為阿根廷Norma Boero女士。2013年朴世文理事長增加了WiN 榮譽獎，今年由邱絹琇女士獲得該獎項。邱女士自1993年參加全球核能婦女會以來，20多年間熱心參與會務，在台灣組織WiN Taiwan，並率領會員積極參與，對WiN Global貢獻良多，殊堪嘉許。

年會程序中安排各分會上台報告會務，今年有22位報告，我國由鄭憶湘會長報告。從各分會報告中可看到各國核工業的盛衰，並可互相交流所辦的宣導活動。福島事故後影響最大的是日本，今年執行理事小林容子和前任理事長小川順子均自費參加，其他公司沒派人與會。德國在2015年6月有9部機停役，其他8部機將陸續停役，預計到2022年底就沒有任何核能機組在營運。瑞士有與福島相同機型的電廠，故民眾有疑慮，於11月27日舉行廢核公投，結果以55%對45%未通過於2029年廢止核電的提案。核工業仍然欣欣向榮的有中國，現有35部機在運轉而21部機



▲ FANR輻射安全處處長Aayda Al Shehhi女士

在施工中。韓國承包 UAE 巴拉卡核電廠 4 部 APR1400，國內有 24 部機在運轉，近年反核的聲勢漸大，但政府方面非常支持。沒有核電廠的澳洲、馬來西亞、土耳其、約旦也有報告；目前除了澳洲以外馬來西亞、土耳其、約旦都想興建核電廠。

2017 年 WiN Global 年會將由中國主辦，預定於 2017 年 8 月 28 日至 9 月 1 日在北京舉行。2018 年將由阿根廷主辦，時間還未確定。

阿聯酋雖是產油國仍考慮能源多元化

UAE 出產石油，其蘊藏量占全球 7%，排名第 6，次於沙烏地阿拉伯、委內瑞拉、伊朗、伊拉克、科威特，95%產於阿布達比州。天然氣蘊藏量全球排名第 7。

2006 年波斯灣 6 國——沙烏地阿拉伯、科威特、巴林、UAE、卡達、安曼合作委員會（GCC）開始研究核能的和平應用。2007 年 GCC 進行 6 國區域合作發展核電的可行性研究，並開始進行此區域的電網整合。2003 年 UAE 與國際原子能總署簽訂核武禁衍（NTP）協定，波斯灣 6 國均簽了 NTP 協定。2009 年



▲我國代表團團長鄭憶湘博士

GCC 預測 6 國用電成長率到 2015 年每年成長 10%；2012 年 6 國電力系統總裝置容量為 9,000 萬瓩（GWe），全年發電為 5,200 億度，均為燃油或燃氣發電，用電成長率 5-7%，相當比例的電力用於海水淡化。

2008 年 UAE 提出核能政策，預測電力需求由 2008 年的 1,550 萬瓩至 2020 年增加為 4,000 萬瓩，天然氣只能提供一半，規劃 6-7% 用再生能源而 25%用核能，其餘用燃煤（清潔煤），亦即考慮能源多元化。2013 年 UAE 毛發電量為 1,060 億度（TWh），99%來自燃氣發電，1%進口；總裝置容量為 1,900 萬瓩。

2008 年 UAE 就巴拉卡和印度洋岸的阿富加拉兩個廠址作評選，結果巴拉卡勝出。UAE 成立國營電力公司 ENEC 來執行核能計畫，ENEC 邀請 9 家公司投標，2009 年選出 3 家：法商 Areva 的 EPR 機型、GE-Hitachi 的 ABWR 機型和韓國 APR-1400 PWR 機型，最後由韓國 KEPCO 集團得標，以 204 億美元為 UAE 興建及營運 4 部 APR-1400 機組。將來 60 年的核電廠營運以 KEPCO 和 ENEC 合資組成 Nawah 能源公司來經營。Nawah 於 2016 年 5 月成立，由 ENEC 及 KEPCO 分別出資 82%、18% 成立，負責運轉及維護巴拉卡核電廠。2016 年 ENEC 與 KEPCO 簽訂運轉支援服務合約，合約金額 8.8 億美元，韓國派 400 名專業人員支援 Nawah 運維工作直到 2030 年。ENEC 把核能計畫管理發包給 CH2M Hill，將核能引進到 UAE。巴拉卡核電廠 4 部 APR-1400 是以新古里 3、4 號機為參考廠，到 2020 年全部完工裝置容量共計 560 萬瓩，占全國電力 25%。屆時多餘電力可藉區域電網輸出。中國企業也參與了巴拉卡核電計畫的投資，得標總額約 30 億美元。

2010 年中 ENEC 成立核安審查委員會，成員 5 位來自韓、日、美核能領域的專家，協

	施工（西元年／月）	啟動	完成率
巴拉卡 1 號機	2012/7	2017/5	91%
巴拉卡 2 號機	2013/5	2018	78%
巴拉卡 3 號機	2014/9	2019	62%
巴拉卡 4 號機	2015/9	2020	32%

助審查施工、起動、運轉的安全和效果，在巴拉卡核電廠向聯邦核子管制機構（FANR）申請建廠執照時協助審查所送出的文件，也就是電力公司自己先審查再送給核管機關。ENEC 也成立國際諮詢委員會（IAB），由曾任職 IAEA 署長的 Dr. Hans Blix 擔任主席。

核安管制機關

2009 年 8 月 UAE 向 IAEA 表示願加入 IAEA 核安協定及用過核燃料管理安全與放射性廢棄物管理安全協定，2009 年 10 月簽署了原子能和平應用聯邦法案並立即生效。依據該法將成立 FANR 來監管 UAE 的核能業務、建立核子物料的核照與管制制度，該法律禁止 UAE 從事鈾濃縮及用過核燃料再處理。FANR 聘請美國核管會的卸任主委擔任該組織的主席。2015 年 9 月 FANR 與美國核管會簽訂的 5 年合作合約再次續約，合作內容包括技術資訊交換、核安研究合作及人員訓練。

民眾對核能的態度

2011 年民調顯示 66% 支持核能，2012 年的調查則升高為 82%。詢問「是否支持在貴州建核電廠？」由 2011 年的 67% 上升為 89%。ENEC 表示，雖然民眾支持度很高仍不可掉以輕心，尤其是在放射性廢棄物處理方面的溝通。

巴拉卡核電廠

巴拉卡核電廠離阿布達比市 300 公里，靠近 Ruwais 和卡達，2010 年 4 月 ENEC 向 FANR 申請建廠執照，以及向阿布達比市環保局申請環評審查，2012 年 7 月奉准。ENEC 於 2010 年 7 月開始整地並訂製 4 部機的大型組件，阿布達比市環保局核准了環評後，就於 2011 年 3 月破土動工。巴拉卡核電廠是以韓國新古里 3、4 號機為參考廠，但巴拉卡核電廠海水溫度為 35° C，比新古里 3、4 號機的 27° C 高，故需要比較大的熱交換器和冷凝器。此外兩國的頻率不同，UAE 是 50Hz，韓國是 60Hz。

UAE 是採用二階段證照制度，2010 年 12 月 ENEC 向 FANR 申請 1、2 號機建廠執照，FANR 審查 18 個月後於 2012 年 7 月核發，1 號機當月就開工。2015 年 3 月 ENEC 向 FANR 申請 1、2 號機運轉執照，1 號機預計 2017 年 5 月裝填燃料。ENEC 也參加了 WANO 組織，以確保與世界接軌，追求高標準的核能安全。

據 IAEA 的 INIR（Integrated Nuclear Infrastructure Review）於 2011 年元月的查核報告表示 UAE 已遵照 IAEA 的建議；並列出其優點有：核管機關和電力公司合作但不失獨立；人力發展、管理制度完善、有優良的安全文化。

2016 年 11 月 23 日台灣代表團搭了 3 個

多小時車抵達巴拉卡核電廠，由於保安檢查嚴格，花去很多時間，原排定參觀模擬中心的行程只好取消；除了聽取簡報，只能搭車在工地繞一圈。

ENEC 有員工 1,700 名，來自 38 個國家，60%為本國人，女性占 20%。UAE 女性在大學理工系所研修的人數近年迅速增加，女性貢獻很大；以巴拉卡核電廠為例，該廠有 200 多位女性同仁，其中模擬操作中心主管是女性。Nawah 執行長 Mohammed A. Sahoo AlSuwaidi 表示巴拉卡核電廠以安全第一、表裡一致、透明、效率 4 項為核心價值，因此將依據世界高標準來運轉電廠，以確保在 60 年的壽命期間安全無虞。他表示巴拉卡核電廠已有 2 位持照女性運轉員，電廠女性同仁表現優異。

核燃料循環

2012 年 8 月 ENEC 已發包 6 個合約，包括天然鈾提煉、轉化、濃縮服務和購買濃縮鈾，這些合約總價約 30 億美元，可供巴拉卡核電廠自 2017 年起 15 年的營運所需。承包商有加拿大 Uranium One、英國 Rio Tinto、法國 Areva、俄羅斯 Techsnabexport（Tenex）；轉化服務有美商 Converdyn 及 Tenex、法商 Areva；濃縮服務有 Urenco、Areva、Tenex；提供濃縮鈾的是 Kepco Nuclear Fuels。

放射性廢棄物管理



▲台灣代表團參觀清真寺

UAE 的放射性廢棄物管理採用雙軌制，一方面國內要興建貯存及處置設施，一方面要以區域合作方式處理，此外還有用過核燃料還給供應商的方案。用過核燃料在用過燃料池放 20 年或 6 年之後採乾式貯存。至於是否採用法國再處理，端賴經濟評估後再決定。瑞典 SKB 幫 UAE 研究是否有合適的地質處置場址。

國際合作

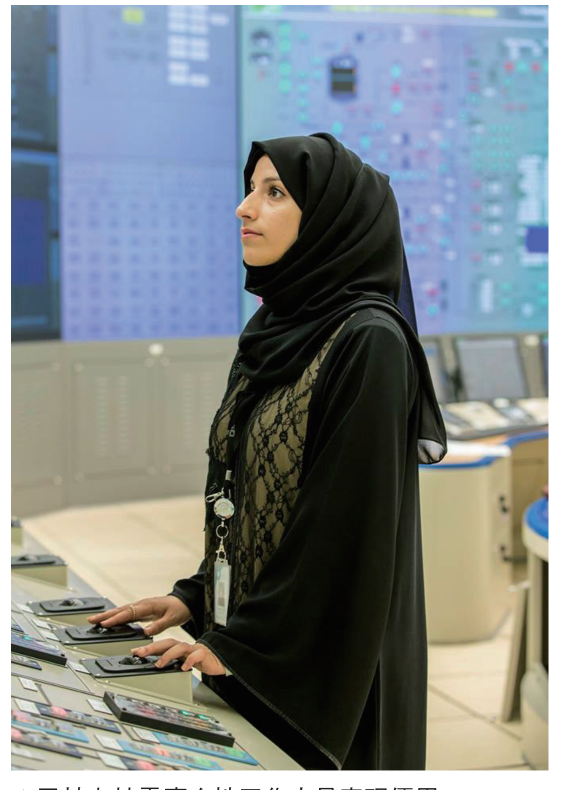
2012 年 10 月 UAE 立法規定核子損害賠償依照維也納協定修訂版，以 4.5 億特別提款權為上限，約 6.94 億美元，所以運轉者必須以此水準投保。

2009 年 1 月 UAE 和美國簽訂雙邊核能合作協定、同年 6 月與南韓簽訂雙邊核能合作協定。UAE 與英國簽訂核能合作備忘錄，2012 年和法國、加拿大、俄羅斯都簽了核能合作協定。2013 年和阿根廷簽了核能合作協定，和日本簽了核能合作及技術轉移協定。2012 年和澳洲、加拿大簽訂雙邊保防協定。2016 年 8 月 Holtec International 和 UAE 的 Atomic and Automation International 宣布要合資在杜拜成立 Holtec Arabia，將其熱交換設備用在電力和製程工業，提供用過核燃料貯存及運送系統，並在阿拉伯 6 國推廣小型反應爐 Holtec SMR-1602。

女性蒙頭但女權並不低落

在會場上 UAE 的出席人員男性全身白色，女性全身黑色，形成只有黑白兩色的有趣現象。UAE 的女性受高等教育的比例很高，也不蒙面，雖然穿黑袍，每個人的袍子上有花樣、裡面的服飾很講究，臉上化妝得很美麗。

UAE 的外籍人士很多，在阿拉伯半島的伊斯蘭國家中屬於比較開明的。中小學女孩和男孩占比相當，也不必隔開受教育。受高等教育的女性近年迅速增加，受教育的婦女進入政府機關工作或擔任律師、醫師、社工人員的職業婦女近年也迅速增加。結婚年齡由 10 幾歲延後到 20 幾歲。古蘭經雖允許男人娶 4 個妻子，事實上多半是一夫一妻，在公共場所常常看到父親帶著妻子、兒女逛街吃飯，沒有男女區隔的情況。但我們參觀清真寺的時候需要穿合宜的衣服（長袖、長裙／長褲）以及蒙頭。在還沒去 UAE 之前很擔心稍有不慎觸犯了禁忌，其實感覺上還蠻開明的，遊客可以不用太緊張。



▲巴拉卡核電廠女性工作人員表現優異

參考資料：

1. 參考 From Rags to Riches
2. UAE 的核能概況引用 WNA 網站資料

有機、無機農產品的營養有差嗎？

文・編輯室



刊載於《英國營養期刊（ British Journal of Nutrition）》的新研究中，研究人員檢視了343 篇的研究報告，發現有機耕種農產品的某些營養物質及抗氧化物質如：

●酚酸	●黃烷酮	●二苯乙烯
●黃酮	●花青素	

較傳統一般農法耕種者的含量較高，並推測有機耕種的農產品會因為要對抗害蟲，而含有顯著較高的抗氧化物質！有機耕種的農產品中具保護效果的抗氧化物質含量，平均較傳統一般農法耕種者高出 17%。另外，研究中也發現有機農產品中對健康有害的硝酸鹽含量較傳統一般農法耕種者低。

為什麼冷榨，不再加工的橄欖油，才是心血管的好朋友？

刊載於《分子營養與食品研究（Molecular Nutrition & Food Research）》的一篇研究證

實，橄欖油中的天然化學物質也許可以用來解釋地中海飲食對健康的效益。

該研究追蹤健康但有高膽固醇狀況的 16 名男性和 5 名女性。研究人員將受試者進行兩次的測試：過夜禁食後，一次到醫院給予 40 毫升，含 400 ppm 多酚化合物的天然初榨橄欖油，另外一次給予同一品牌，但經加工移除大部分多酚化合物，剩下 80 ppm 的橄欖油，並於 4 小時後採集血液樣本，研究人員利用都普勒雷射評估所有重要的動脈血管內皮功能的可靠指標的反應，結果發現：

使用「天然初榨」含豐富多酚化合物的橄欖油能減少氧化壓力，並改善一氧化氮幫助血管擴張的功能；「加工後的橄欖油」並無如此的結果。

所以特級初榨橄欖油是多酚類的豐富來源，而多酚化合物可以保護我們免於這些吃進的脂肪所造成的血管內皮功能損傷，進而保護血管系統。但不要試著以橄欖油作為所有多酚類的攝取來源，而過量攝取橄欖油，因為多餘的脂肪還是會造成身體的損傷。

為什麼十字花科如花椰菜、高麗菜等能降低發炎反應？

「慢性發炎及心臟血管疾病等慢性疾病與癌症有著密切的相關性。」發表於美國《營養飲食協會期刊（Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics）》，一項針對 1,005 名普遍健康、平均年齡為 58 歲的中國婦女進行的研究發現，攝取大量十字花科蔬菜者較攝取少者，體內發炎反應是相對低的。

十字花科蔬菜多含有活性成分吲哚（indoles）及異硫氰酸酯（isothiocynates），攝取高量十字花科蔬菜（1.5 杯）的婦女，其血液中 3 種與發炎相關的重要分子：腫瘤壞死因子 -α（TNF-α）、介白素 -1β（IL-1β）及介白素 -6（IL-6）的含量較攝取較少量者（0.5 杯），平均 TNF-α 少 13%，IL-1β 少 18%，IL-6 少 25%。

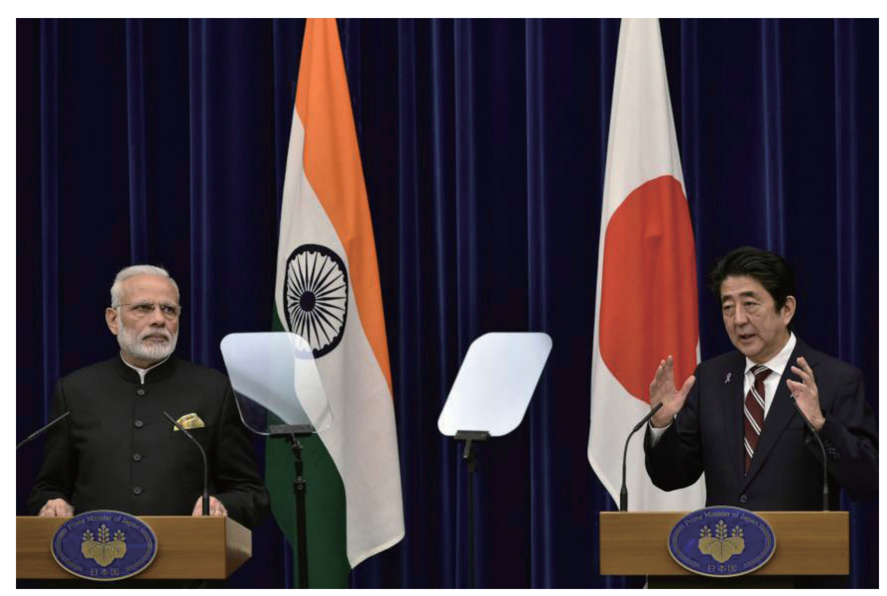
（以上資訊由喜悅健康診所提供）

十字花科蔬菜吲哚類硫代葡萄糖苷含量比較

種類	亞種	吲哚類硫代葡萄糖苷含量（μmol/g）
甘藍類	結球甘藍	388.8
	青花椰菜	290.04
	白花椰菜	206.79
白菜類	大白菜	65.56
	不結球白菜	25.79
	油菜（葉）	32.6
芥菜類	芥菜	32.17
蘿蔔類	白蘿蔔	24.74
	紅蘿蔔	19.33

日本核電成功出口至印度 但在越南碰壁

文・編輯室



▲印度總理莫迪與日本首相安倍晉三近期於安倍的辦公室舉行公開記者會（圖片來源：The Japan Times）

日本首相安倍晉三於 2016 年底，與赴日參訪的印度總理莫迪（Narendra Modi）簽署核能協定，這是日本首度與非《核不擴散條約（NPT）》締約國簽署核能協議，同意日本可出口民用核能相關設備與技術至印度，此舉被外界視為日本欲拯救因 2011 年福島事故而業務緊縮的核工業市場，期望能促成日商出口核電廠。但另一方面，原定由日本與俄羅斯共同在越南東南部寧順核電廠的建造計畫，越南政府近期卻以財政原因為由，面臨撤銷的情況。

印度由於近幾年經濟成長迅速，電力短缺的問題日益嚴峻，預計核能發電將成為今後電力開發的重心，不只日本，連中國、法國等國家亦期望能在印度擁有這類投資的機會，印度也因此成為各國核電廠商爭奪生意的主戰場。

日本目前已與 13 個國家簽屬類似的協議，包含美國、法國、俄羅斯等國家在內，但此次與印度是日本首次與非《核不擴散條約》締約國簽署核能協議，在國內外均掀起不小的波瀾。鑒於印度的身分，日本在另一份備忘錄

中註明，如果印度重啟核武相關試驗，日方將立即停止合作。

安倍對此表示，該份協議將有助印度加入《核不擴散條約》體制，符合日本致力推廣「無核武世界」的理念，莫迪也重申印度在抑制核武擴散方面擁有穩固的體制，並告訴安倍兩國此舉是為了確保國家能源安全而合作，也向全球傳送「印度自願停止核武試驗，且該國防止核武擴散的體制位居全球頂尖」的訊息。

不過，日本現今在原子能方面所處的位置仍非常脆弱。安倍對日本自福島事故後所採用的核安標準為世上最嚴格而感到自豪，但至今日本成功重啟的核電機組僅有 3 座。另一方面，作為唯一遭受原子彈襲擊的國家，日本在反對核武存在之立場堅定，積極推廣無核武世界的建立，但日本國內卻認為安倍已違反實現無核武世界的方針，《朝日新聞》近期發表的一篇社論提到，與未加入《核不擴散條約》的印度簽屬核子協議，與日本一直以來主張的無核武立場互相矛盾，即使加上限制條款也無法避免印度從用過核燃料中提煉原料、製造核武的可能性。日本原計畫在該份協議中註明「若印度開始核武試驗日本將立即停止合作」，這是印度與其他國家簽屬協議中不曾涉及的內容，但這項補充最終也只寫入了相關文件當中。

而在日本貌似成功將核電出口至印度的這個時間點，越南政府卻發表聲明，表示國會決議撤銷日本與俄羅斯在該國境內建設首兩座核電廠的計畫，理由是建造核電廠所需的成本不斷增加，並無任何技術上的考量。這對於將核電出口設為促進經濟成長策略之一的安倍政府而言，無疑是不小的打擊。

越南國會科技環境部門高層表示，為了達到福島事故後所提高的核安標準，計畫最初於 2009 年預期需投入的資本額至今已翻倍漲至將近 180 億美元（約 5,500 億新台幣）。而越南政府目前正面臨財政緊縮的問題，電力需求成長的速度預計也將減緩，以巨額投資核電廠並不適合。越南知名電台近期在節目中提到，越南國家電力公司估計 2016 年至 2020 年的電力需求成長率為 11%，至 2030 年僅有 7-8%。這跟 2009 年越南政府批准兩座電廠建設計畫當時 17-20%的電力需求成長率，可說相差甚遠。

越南環保團體也對國會此決定表示支持，他們認為未來當再生能源可成為替代能源時，核電廠將成為浪費公帑的建設。同時他們也提到核能對環境帶來可能的威脅，因我國台塑集團去年在越南爆發的汙染事件，造成大規模的魚群死亡，近 200 公里的海岸線面臨生態浩劫，可謂越南史上最嚴重的環境災難。國會科技環境部門高層表示，在此次事件後，越南對建案的安全疑慮更為注重，因為越南無法再承受另一場災難。

寧順核電廠的建設計畫原定於 2020 年啟用首部機組，但在福島事故後延期至 2028 年與 2029 年，直到近日的建設取消，除了日本之外的另一建造廠商俄羅斯國家原子能公司（Rosatom）對此結果表示尊重，也將繼續參與核能科技與基礎建設的開發，支持越南和平的發展核能。

資料來源：

- http://www.japantimes.co.jp/news/2016/11/11/national/politics-diplomacy/japan-india-sign-civil-pact-nuclear-power-reassurances-modi/#.WHMIrZx97cs
- http://np.chinapower.com.cn/201611/15/0054104.html
- http://www.reuters.com/article/us-japan-vietnam-nuclearpower-idUSKBN13D0RK

德國提前關閉核電廠 廠商可向政府索賠

文・編輯室

根據《紐約時報》的報導，德國電力公司日前就政府逐步放棄核電的決定對其提起訴訟，最高法院於近期作出裁決，表示贊成政府於 2011 年因日本福島事故而提前實施廢核政策，儘管不認同原告電力公司所提出的「政府關閉核電廠，剝奪核電企業資產所有權」的說法，但法官支持他們索賠的主張，裁定德國政府必須在 2018 年 6 月前賠償這些核電企業。

德國自 1988 年即開始能源轉型，使用如風力、太陽能、生質能等再生能源發電，逐步廢核已隨著時間成為該國的計畫。梅克爾政府於 2010 年決定將國內核電廠工程最晚開始時間延至 2036 年，並同意延長幾部核電機組的運轉期限，聲稱核電可確保穩定電流進入電網。但是，發生於隔年的日本福島事故導致德國轉變方針，立即停止當時運轉中的 8 部核電機組，並宣布剩下的 9 座最遲必須於 2022 年前關閉，比原先預計廢核的時間提早許多。

而德國能源巨頭意昂（E. On）、萊茵（RWE）電力集團，以及在德國擁有核電廠的瑞典大型電力公司瓦騰福（Vattenfall）對此一狀告上法院，向政府要求高達 190 億歐元（約 6,650 億新台幣）的賠償金，補償提早關閉核電廠對電力公司所造成的損失。

德國最高法院法官表示，政府以福島事故為鑒，提前關閉核電廠營運的做法是可行的，但法院支持各大電力公司向政府申請適當的補償，並命令政府必須在 2018 年前與電力公司對賠償金達成協議，不過法院卻沒有提到賠償金的額度。

而法院這項裁決還可能影響眼下德國政府與電力公司對出資處理、儲存放射性廢棄物的協商結果。數月前獲准的一項草案，規定德國四大電力集團意昂、萊茵、瓦騰福以及 EnBW，需在 2022 年前向德國為放射性廢棄物的儲存所成立的後端基金，提供近 235 億歐元（約 8,225 億新台幣）的資金。在該草案被立為法律前，電力公司可能利用這項最新的裁決結果，在與政府的協商中提出更多的條件。

註：德國政府持有 EnBW 過半的股權，該公司為國內四大電力巨頭中唯一沒有就提早關閉核電廠來控訴政府的電力公司。

資料來源：

- http://www.nytimes.com/2016/12/06/world/europe/germany-nuclear-power-court.html?_r=0
- http://np.chinapower.com.cn/201612/08/0054375.html

法國完成安檢後重新啟動 9 座反應爐

文・編輯室

因反應爐蒸汽產生器組件疑似有問題而停機接受安全審查的法國 10 部核電機組，有 9 部在安檢完成後於今（2017）年初獲法國核能監管機構（ASN）批准重啟。

法國這次一共有 10 座 90 萬瓩（900 MW）與 2 座 149.5 萬瓩（1,495 MW）的反應爐受到影響而停機，這些反應爐的蒸汽產生器的底蓋為日本鑄造鍛造公司（JCFC）所製造，ASN 對核電廠營運廠商法國電力公司（EDF）於去年 10、11 月所提供的相關報告進行了評估，獲准重啟的 9 部機組均為 90 萬瓩的反應爐，分別為比熱（Bugey）4 號、丹皮耶赫（Dampierre）3 號、費瑟南（Fessenheim）1 號、卡夫令（Gravelines）2 與 4 號，聖洛朗 B1（Saint-Laurent B1），以及特里卡斯坦（Tricastin）1、3、4 號機組。至於特里卡斯坦 2 號預估有可能因為天氣寒冷而引起電網安全風險，因此延後重啟。ASN 目前仍在審核西沃（Civaux）核電廠 2 座 149.5 萬瓩反應爐的安全性。

法國 ASN 最初在 2015 年 4 月證實，北部興建中的弗拉芒維爾（Flamanville）電廠 3 號機組的頂蓋與底部有部分組件的碳元素含量過高，可能導致反應爐壓力容器強度不足，引發關注。受影響的組件分別是 2006 年 9 月與 2007 年 1 月在克勒佐（Le Creusot）的工廠所製造，法國亞瑞華公司（AREVA）亦立即對此展開質量評估。

ASN 表示，這可能會影響鋼鐵的機械性能甚至影響反應爐的安全，要求亞瑞華與法國電力公司檢查反應爐組件是否存在類似的問題。結果法國電力公司發現一些蒸氣產生器的底蓋有類似的異常現象，包括這批獲准重啟的 9 部反應爐；亞瑞華則發現來自其旗下的克勒佐鍛造公司以及日本 JCFC 的鋼材，均存有含碳量過高的問題。

這些存有安全疑慮的蒸汽產生器目前安裝在 18 部核電機組上，除了上述提到的 12 部以外，其餘 6 部均由亞瑞華集團的克勒佐公司製造，但這 6 部已於此前通過檢測，目前均已重新投入運轉。

另外，美國也因此檢查了國內裝有相關組件的 17 座反應爐，但美國核能管制委員會（NRC）最終宣布，該問題並沒有對美國 17 部核電機組產生立即的安全影響，也沒有停機的必要。

資料來源：

http://www.neimagazine.com/news/newsfrench-reactors-restart-after-safety-review-no-us-shutdowns-5717964

核能新聞

文・編輯室

國外新聞

美國法院否決印地安角核電廠延役申請

紐約州上訴法院於近期駁回美國核電營運大廠——安特吉公司（Entergy Corp.）所提出的印地安角核電廠延役申請，因為州務院認定此申請不符合該州的沿岸管理規定。

根據美國聯邦沿岸區域管理法的規定，如果核子設施與國家的沿岸管理計畫不一致，地方州政府有權反對授予該設施運轉執照，一旦出現這種情況，除非法院或負責美國國際貿易與救濟措施的美國商務部同意，否則將禁止美國核管會（NRC）延長該電廠的運轉執照。紐約州務院在 2015 年底即表示印地安角核電廠的延役申請不符合州立的沿岸管理規範，認為該電廠「過時」且不屬於紐約市附近的哈德遜河（Hudson River）區域，與紐約州所立的沿岸管理規範不一致。但安特吉公司對此提出上訴，質疑州務院此舉的正當性，並稱該決定已超出了紐約州的監管職權。

印地安角核電廠擁有 2 部機組，自 1970 年代中期開始運轉至今，安特吉公司自 2007 年 4 月即向 NRC 申請 2 部機組的延役運轉許可。一般如果同意授予聽證會，延役的申請過程僅需要近 30 個月的時間，但該電廠卻因為在審判過程中被多方提出質疑，導致審核過程嚴重超時。儘管紐約州在 2016 年曾立法，認可核能發電的「零碳排」屬性，並建立機制來援助紐約州北部因經濟問題面臨提前關閉的核電廠，但並不包含印地安角核電廠在內，儘管它僅離紐約市約 40 公里的距離。

另一方面，核管會也於近期批准位於密西西比州的大海灣（Grand Gulf）核電廠 1 號機組延役 20 年（至 2044 年 11 月），以及南卡羅萊州威廉李（William States Lee III）核電廠兩座 AP1000 反應爐的建造與運轉許可。

World Nuclear News, 2016/11/23、
NRC, 2016/12/01

俄羅斯中低放廢棄物最終處置場開始營運

俄羅斯國家放射性廢棄物管理公司（National Operator for Radioactive Waste Management）最近宣布正式啟用位於俄羅斯新烏拉爾斯克（Novouralsk）的國家近地表中低放射性廢棄物最終處置場。該座處置場已於 2016 年 11 月底至 12 月初間接收首批體積為 47 立方公尺、屬於第三類放射性廢棄物，預計將於 2017 年開始接收像是衣物、空氣過濾器、包裝材料等的第四類放射性廢棄物。

該座簡稱 PPZRO 的處置場屬於鋼筋混凝土設計，長寬深度分別為 140 公尺、24 公尺與 7 公尺，每年可接收高達 300 立方公尺的放射性廢棄物，且最多可貯存 15,000 立方公尺的放射性廢棄物長達 300 年的時間。俄羅斯國家放射性廢棄物管理公司表示，在此設施進行處置的放射性廢棄物將可承受震度 6 級的地震。

俄羅斯國家放射性廢棄物管理公司的母

公司——俄羅斯國家原子能公司（Rosatom）補充，該座處置場使用最新的技術來建造，包含許多安全屏蔽措施等，替周圍環境提供可靠的保護作用，之後也會陸續在其他擁有核電廠的地區建造這樣的處置設施。Rosatom 也提到，這些處置設施的商轉，對處置前蘇聯時期所遺留下來的放射性廢棄物來說是很重要的一步，證實俄羅斯正積極處理放射性廢棄物。

俄羅斯國家放射性廢棄物管理公司表示，該座處置場會用來貯存烏拉爾電化學集團（Ural Electrochemical Combine）生產濃縮六氟化鈾燃料所產生的放射性廢棄物。

World Nuclear News, 2016/12/15

日本川內電廠恢復運轉

位於九州鹿兒島的川內核電廠 1 號機組，在 2013 年中成為日本福島事故後首座通過新制標準的核電機組，並於 2015 年 8 月重啟運轉，2 號機組也於 2016 年 10 月加入運轉行列。但是，這兩部才剛重啟的機組卻分別在 2016 年 10 月初與 12 月中停機，重新接受安全檢測，因為新上任的鹿兒島縣長三反園訓（Satoshi Mitazono）於 2016 年 8 月底提出「應立即停止反應爐運轉並再次檢測」的要求。不過，負責川內核電廠營運的九州電力公司並沒有同意此要求，因為連管制單位日本原子力規制委員會（NRA）亦覺得沒有必要停止兩部機組運轉，不過九州電力公司答應會在例行停機時段進行另外的安全檢測，並加強電廠周圍 30 公里內的疏散措施，三反園之後也在公開記者會上暗示，他將不會繼續要求九州電力公司關閉川內核電廠。

日本現今已有 5 部核電機組獲准重啟，但僅有 3 部處於運轉狀態。另外還有 20 部機組在申請重啟程序當中，將視其需要程度或當地支持度較高的核電廠給予優先權。川內 1 號機已於 2016 年 12 月中恢復發電，將逐步增加機組的產量，預計會在近期恢復正常運轉。

Nuclear Engineering Magazine, 2016/12/13、Japan Times, 2016/09/09

芬蘭開始最終處置場建設作業

芬蘭核能後端營運專責機構泊西瓦公司（Posiva Oy）在歐基盧歐托（Olkiluoto）的用過核燃料最終處置場，在 2015 年 11 月底獲頒建築許可後，於近期獲准開工。根據芬蘭核能相關法規，就算處置場計畫已經獲得建築執照，還需要芬蘭輻射暨核能安全管制局（Stuk）全面審查通過後，才能開始實際的建造工程作業。在過去這段時間內，Stuk 一直在審查該計畫的相關文件，內容包含泊西瓦公司的人力資源、管理、安全文化等，並同時監控處置場建設帶來的影響以及防護措施等。

Stuk 的審查結果表示泊西瓦公司已準備好開始工程，泊西瓦公司也與建築公司完成合約的簽訂，將陸續開始最終處置場的建築相關作業，該處置場預計於 2023 年開始營運。

World Nuclear News, 2016/11/29

中國內陸核電建設即將解禁

中國在 2011 年福島事故後全面停止國內核電計畫的審批，中國國務院也於隔年表態，在《十二五規劃》期間不會安排任何內陸的核電計畫，並將提高核准的門檻，多個內陸核電廠全面停工，內陸省份核電計畫戛然而止。但如今《十二五》的結束也意味著中國內陸核電

建設即將解禁，中國國家能源局自從在 2014 年的《能源工作指導意見》中明確表明將適時啟動國家核電計畫的審批以來，中國新增核電計畫審批的速度超出預期。

現今中國待核准的核電計畫多數集中在內陸地區，將在未來進入全國核電均勻分布的階段，據統計，中國內陸核電儲備廠址的可容納裝置容量高達 2 億多瓩，遠高於沿海核電廠。目前內陸先鋒核電計畫的機組均屬於 AP1000，預計待 AP1000 技術難點突破後將加速發展。

根據中國核能行業協會調查，中國已建立內陸核電廠的核安法規體系。內陸核電廠與沿海核電廠的安全法規與標準一致，但必須考慮到內陸核電廠放射性流出物的排放對周圍環境、當地生態系統以及居民的影響等，內陸核電廠的流出物排放標準比沿海核電廠更為嚴格。

國家核電董事長王炳華表示，中國在核電規劃方面的趨勢為「先沿海再內陸」，預計至 2020 年中國運轉中核電裝置容量將達到 5,800 萬瓩，興建中的達到 3,000 萬瓩。

ChinaPower, 2016/12/13

首座韓國設計反應爐投入商轉

韓國新古里核電廠 3 號機組、亦為全球首座由韓國設計的進步型壓水式反應爐 APR-1400，已於去 2016 年 12 月中正式投入商業運轉。

新古里 3 號的建設工程始於 2008 年 10 月，營運廠商韓國水力核能電力公司（KHNP）於 2015 年 10 月獲得該部機組的運轉許可，該部機組也於同年底首次達到臨界，並於 2016 年初併網，年底開始商轉。

新古里 3 號投入運轉行列使韓國運轉中反應爐的數量達到 25 座，目前的裝置容量超過 2,300 萬瓩，其中新古里 3 號機每年將可生產約 104 億度電，提供韓國東南部約 12% 的電力。

另外，型號亦屬於 APR-1400 的新古里 4 號機組，預計將於 2017 年上半年獲得運轉執照。而韓國另有 2 座 135 萬瓩的壓水式反應爐（新蔚珍 1、2 號機）仍在進行工程作業，預計將於 2017 年 4 月以及 2018 年 2 月加入運轉行列。除此之外，韓國目前還計畫要在新古里以及新蔚珍核電廠建造 2 座 APR-1400。

World Nuclear News, 2016/12/20

瑞士拒絕加速淘汰核電

雖然瑞士政府已經制定好境內 5 部核電機組「在運轉結束時」的除役計畫，但反對人士聲稱該策略太過於模糊，核電廠仍有機會無限期運轉，政府因此舉行公投，結果有 56% 的選民拒絕提早關閉核電廠的提案，這 5 部反應爐將繼續營運至其經濟年限。

經過監管機構的批准，現有瑞士核電廠可根據商用計畫來營運，從現在來看很有可能營運至 60 年，於 2030-2040 年間關閉。預計今後將可生產近 3,2000 億度的電力，且跟使用進口天然氣發電相比，將減少近 5,000 萬噸的二氧化碳排放，向全球發出「現在需努力的是擴大潔淨能源，而不是關閉它」的信號。

World Nuclear News, 2016/11/27

國內新聞

台電打造首座防災型微電網 終結風災孤島

為避免偏遠地區因風災造成長期電力中斷，台電與烏來區公所及福山國小共同啟動「烏來福山防災型微電網示範計畫」，結合可年發 2.7 萬度的屋頂型太陽光電設備、可遙控啟動的發電機、電池儲能設備及能源管理系統，打造防災型微電網，停電時可自主運轉長達 14 天，讓福山揮別颱風孤島、走向綠能部落。

台電指出，「微電網」是結合發電、儲電與控電設備的區域型電網，可供應區域內用電需求，平時可與一般台電輸配電網相連接，透過自身發電設備甚至可輸出電力；當停電時，微電網則有如一座微型供電系統，可「自給自足」不受外界電力中斷影響。而「防災型微電網」則是針對經常性災害致斷電形成孤島的地區，結合當地政府與學校等防災避難處所，打造一個在沒有外來電源時也能堅強自主運轉的電網，讓在地居民得以安全等待後續生活機能恢復。

微電網可與台電既有大電網搭配、相輔相成，而防災型微電網將用以強化風災停電孤島的防災能力，讓災時搶修不易的地區能維持守護居民生命安全的維生用電。台電也期盼藉烏來福山防災型微電網拋磚引玉，讓更多相關單位投入偏鄉防災強化。另外，台電也同步推動澎湖的「離島型微電網計畫」，除結合再生能源打造節能減碳的「低碳島」，亦可降低離島發電成本。

本刊訊， 2017/01/18

核研所高溫電漿熔融技術技轉業界 改善廢棄物環保問題

核能研究所（以下簡稱核研所）與永續發展股份有限公司（以下簡稱永發公司），於 1 月 13 日簽訂技術授權合約，共同合作推展高溫電漿熔融處理技術應用於改善廢棄物處理的環保問題。

基於放射性廢棄物妥善處理的施政綱要，並配合零廢棄與環境永續的環保政策，核研所致力於研發一般與有害事業廢棄物電漿熔融處理技術多年，擁有高溫電漿熔融技術本土化自主整合基礎，可應用於放射性廢棄物與都市垃圾焚化飛灰的處理。電漿熔融爐的操作溫度可達 1,600 度，焚化溫度比現行熱處理方法高 1.5-2 倍，戴奧辛去除破壞率大於 99.9995%。在此超高溫環境下，對人體與環境有害的重金屬，在電漿熔融過程中揮發，被空氣污染防治設備收集下來或直接共構於熔岩體中，其重金屬溶出量遠低於水泥固化體，成為穩定的物質。最終電漿熔岩體的體積比水泥固化體小 4 倍以上，廢棄物減量與減容比相當顯著。電漿熔岩因無害性，可作為原料再製作成相關綠建材，增加營運收入，促進資源循環再利用，達到企業和環境永續發展的目標。

本次核能研究所技術授權給永發公司，產業與研究單位的結合具有加乘效果，應可有效解決我國日益嚴重的廢棄物問題，可視為我國環保技術的新里程碑。

本刊訊，2017/01/13



Q：若核能警報發佈，如何保護自己？

如果
核災發生會有輻射
快跑啊！





當下掩蔽最重要

核能警報發佈後，保護自已最好的方法，
就是減少輻射接觸的機會，
第一時間應該採取**「掩蔽」**行動 。



游離輻射防護三原則：

1. **時間**（減少曝露時間）
2. **屏蔽**（鉛板、鋼板或水泥牆來擋住）
3. **距離**（離開放射源強度就會減弱）







大多數的放射線
會隨著時間快速地減低強度，
避免受輻射污染最好是**儘量待在室內**（水泥牆遮掩）
關閉門窗及空調，減少外出。

掩蔽，是核災發生後的最佳生存手段



Q：平時多吃碘片，可以抵抗輻射?

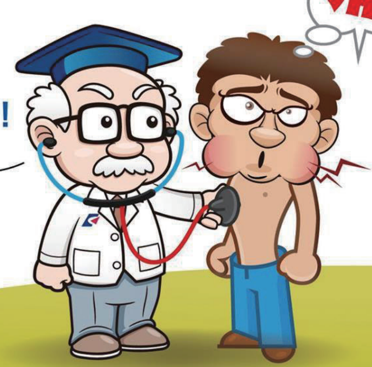
碘片無法預防輻射傷害！

隨意服用，反而會引發**甲狀腺機能異常！**

核災時釋放出的放射性碘，會破壞甲狀腺。
因此，當發生輻射污染時，儘速服用碘片，
可讓穩定的碘先蓄積在甲狀腺中，
阻絕放射性碘，保護甲狀腺。



碘片
別亂吃！





碘片平時不可亂服，若有輻射汙染風險再依政府通知服用！